

(19) Japan Patent Office (JP)

(11) Japanese Unexamined Patent
Application Publication Number

**(12) Japanese Unexamined Patent
Application Publication (A)**

2000-164504

(43) Publication date: June 16, 2000

(51) Int. Cl. ⁷	Identification Symbol	FI	Theme Code (Reference)
H 01 L 21/027 G 03 F 7/23 9/00		H 01 L 21/30 G 03 F 7/23 9/00	503 A 2 H 097 H 5 F 046 A
Request for examination: Not yet requested No. of claims: 9 (Total of 24 pages)			
(21) Application No.	Patent application no. H10-339789	(71) Applicant	000004112Nikon Corp. 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
(22) Date of Application	November 30, 1998	(72) Inventor	Tetsuo Taniguchi c/o Nikon Corp. 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
		(72) Inventor	Saburo Kamiya c/o Nikon Corp. 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo
		(74) Agent	100098165 Satoshi Omori, patent attorney
		F Term (Ref.)	2H097 AA12 BA01 KA03 KA28 KA38 LA10 5F046 AA13 CC01 CC02 CC13 CC16 CC17 DB05 DB10 DC05 DC12

(54) Title of the invention: Stage Device, Exposure Apparatus, and Positioning Method Using the Stage Device

(57) Abstract

Purpose: To enable a stage to be movable in an area wider than the measurement range of an interferometer for measuring the position of the stage and enable measuring the position of the stage with high precision.

Configuration: When a wafer stage WST moves from the position where laser beams from laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y are not applied to movable mirrors 22X and 22Y disposed on the side surfaces thereof and enters the measurement range of the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y, the position of a reference mark MA is measured by a wafer alignment sensor, and the measurement values measured by the laser interferometers 15X1, 15x2, and 15Y are corrected on the basis of the results of the measurement by the wafer alignment sensor. When a measurement stage 14 enters the measurement range of the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y, the position of the reference mark MB is measured by the wafer alignment sensor, and the measurement values measured by the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y are corrected on the basis of the results of the measurement by the wafer alignment sensor.

Scope of Patent Claims

Claim 1

A stage device comprising:

a plurality of movable stages disposed on a specific movement plane so as to be movable independently of each other; and

a first measurement system which measures a position of one of the plurality of movable stages within a predetermined measurement range, characterized in that:

the stage device further comprises a second measurement system which measures an amount of positional deviation of each of the plurality of movable stages from a predetermined reference position within the predetermined measurement range, or the degree of coincidence of each of the plurality of movable stages with respect to this reference position; and

a measurement value obtained with the first measurement system is corrected on the basis of the result of the measurement by the second measurement system.

Claim 2

A stage device comprising:

a plurality of movable stages disposed in a specific movement plane so as to be movable independently of each other; and

a first measurement system which measures within a predetermined first measurement range the position of one of the plurality of movable stages, characterized in that:

the stage device further comprises:

a second measurement system which continuously measures the positions of the plurality of movable stages within a predetermined second measurement range partially overlapping the first measurement range; and

a control system which corrects the results of the measurement by the first and second measurement systems on the basis of the results of the measurement by these two measurement systems.

Claim 3

The stage device according to claim 2, characterized in that the first measurement system is an interferometer, and the second measurement system is a plurality of interferometers which have successively and partially overlapping ranges of measurement.

Claim 4

An exposure apparatus provided with the stage device according to claim 1, 2, or 3, characterized in that masks on which mutually different patterns are formed are placed on the plurality of movable stages of the stage device, and the patterns of the

mask on the plurality of movable stages are alternately transferred onto a substrate while being positioned.

Claim 5

An exposure apparatus provided with the stage device according to claim 1, 2, or 3, characterized in that a mask is placed on a first movable stage among the plurality of movable stages of the stage device, a characteristic measurement apparatus which measures characteristics during the transfer of a pattern of the mask is placed on the second movable stage, and the pattern of the mask is transferred onto a substrate.

Claim 6

An exposure apparatus provided with the stage device according to claim 1, 2, or 3, characterized in that a substrate is placed on each of the plurality of movable stages of the stage device, and the plurality of substrates are alternately exposed with mask patterns while the plurality of movable stages are alternately positioned at a exposure position.

Claim 7

An exposure apparatus provided with the stage device according to claim 1, 2, or 3 and a projection optical system, characterized in that a substrate is placed on the first movable stage of the plurality of movable stages of the stage device, a characteristic measurement apparatus which measures imaging characteristics of the projection optical system is placed on the second movable stage, and the substrate on the first movable stage is exposed with a mask pattern via the projection optical system.

Claim 8

A positioning method that makes use of the stage device according to claim 1, characterized in that when one of the plurality of movable stages enters the measurement range of the first measurement system, the amount of positional deviation of the one movable stage from the reference position within the measurement range, or the degree of coincidence of the one movable stage with respect to this reference position, is measured by the second measurement system, and a measurement value obtained with the first measurement system is corrected on the basis of the result of the measurement by the second measurement system.

Claim 9

A positioning method that makes use of the stage device according to claim 2 or 3, characterized in that when one of the plurality of movable stages enters the first measurement range from the second measurement range, the position of the one movable stage is simultaneously measured by the first and second measurement systems, and the result of the measurement by the first measurement system is

matched on the basis of the measurement result of the position to the result of the measurement by the second measurement system.

Detailed Description of the Invention

[0001]

Technical Field to which the Invention belongs

The present invention relates to a stage device for positioning a workpiece to be machined, for example, and to an exposure apparatus equipped with this stage device and used in transferring a mask pattern onto a substrate in a lithographic process for manufacturing semiconductor devices, liquid crystal display devices, thin film magnetic heads, and so forth. The present invention is particularly suitable for use in exposure apparatuses having various mechanisms such as a mechanism for measuring imaging characteristics.

[0002]

Prior Art

High exposure precision is required of a batch exposure type (stepper type) or scanning exposure type (step-and-scan type) of exposure apparatus used in the manufacture of semiconductor devices and the like. Accordingly, in the conventional exposure apparatus, a movable mirror would be fixed to the side surface of a reticle stage for carrying and positioning the reticle serving as a mask, or to that of a two-dimensionally moving wafer stage for carrying the wafer serving as a substrate, and a measurement beam would be directed at this movable mirror from an interferometer such as a laser interferometer, the result of which was that the amount of movement of the stage was continuously measured at all times, and the positioning of the stage could be carried out with high precision on the basis of the measured values. Usually, with such a stage device, interferometers on three axes have been used to measure displacement in three degrees of freedom, consisting of the two-dimensional movement component and the rotation component of the movable stage.

[0003]

With such a conventional stage device, however, measurement beams from the respective interferometers had to be constantly directed at the movable mirror in all regions of the maximum movement range (movable range) of the movable stage, and because of this, the movable mirror had to be made larger than the movable range so that it would continue to reflect the measurement beams from the interferometers even if the movable stage moved.

[0004]

Consequently, a large movable mirror was needed if the movable range of the movable stage was to be expanded, and this inevitably led to the overall size of the stage being larger, which was a problem in that the stage was heavier and therefore more difficult to move quickly. In addition, machining a large movable mirror to the

required degree of flatness entails tremendous technical difficulty, and fixing the movable mirror to the side of the movable stage without causing the mirror to bend also presents daunting technical difficulty. Unfortunately, a decrease in the flatness of the movable mirror translates directly into a decrease in positioning precision of the stage by interferometer, so ultimately there is no choice but to limit the movable range of the movable stage.

[0005]

A stage device intended to solve this problem is disclosed in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 7-253304, for example. With this disclosed stage device, the number of interferometers used is greater (such as four axes) than the number of degrees of freedom in the displacement of the movable stage (such as three degrees of freedom), which allows the freedom of movement of a given stage to be measured by the remaining interferometers even if the measurement beam from one interferometer should be outside the measurement range of the movable mirror. Once the movable mirror moves back into the measurement range of this one interferometer that misses the movable mirror, the measurement values obtained with the remaining interferometers are set as the initial value for this one interferometer, which allows the amount of movement of the movable stage to be measured by this one interferometer, and makes the movable mirror smaller than the movable range of the movable stage.

[0006]

In addition, with these conventional exposure apparatus, the exposure always has to be performed with the proper amount of exposure light and with the imaging characteristics maintained in a favorable state, so a measurement apparatus for measuring the state of exposure light irradiation and the like or for measuring the imaging characteristics, such as the projection magnification, is provided to the reticle stage on which the reticle is positioned or to the wafer stage on which the wafer is positioned. Examples of a measurement apparatus provided to a wafer stage include an irradiation quantity monitor for measuring the incident energy of exposure light incident to the projection optical system, and a spatial image detection system for measuring the position, contrast, etc., of a projected image. An example of a measurement apparatus provided to a reticle stage is a reference plate on which is formed an index mark used for the imaging characteristic measurement of the projection optical system.

[0007]

Problems to Be Solved by the Invention

With the above-mentioned conventional exposure apparatus, a measurement apparatus provided to the reticle stage or the wafer stage was used to achieve the proper amount of exposure and to maintain higher imaging characteristics.

Nevertheless, today's exposure apparatus also need to increase the throughput (productivity) of the exposure process in the manufacture of semiconductor devices and the like. Ways of increasing throughput include increasing the exposure energy per unit of time, and raising the drive speed of the stage so as to shorten the stepping time with a batch exposure type or shorten the stepping time and the scanning exposure time with a step-and-scan type.

[0008]

To thus increase the drive speed of the stage, a drive motor with a larger output is used if the size of the stage system is not to be changed, and conversely, to increase the drive speed with a drive motor of the same output as in the past, the stage system must be made more compact and lightweight. In the former case, however, the use of a drive motor with a larger output increases the amount of heat generated from the drive motor. This increase in the amount of heat causes subtle thermal deformation in the stage system, which could conceivably preclude obtaining the high positional precision required of the exposure apparatus. In view of this, the latter case, namely, making the stage system as compact and lightweight as possible, is the preferable way to increase drive speed.

[0009]

Particularly, with a step-and-scan type of exposure apparatus, a higher drive speed shortens the exposure scanning time and greatly improves the throughput, and another advantage is that synchronization precision between the reticle and wafer is enhanced by making the stage system more compact, as are imaging performance and alignment precision. It is difficult, however, to make the stage more compact when various measurement apparatus are provided to the reticle stage or wafer stage as in the past.

[0010]

Furthermore, when a measurement apparatus for measuring the state of exposure light, imaging characteristics, or the like is provided to the reticle stage or wafer stage, a heat source such as an amp is usually attached to this measurement apparatus, and the temperature of this measurement apparatus is gradually raised by irradiation with the exposure light during the measurement. As a result, there is the danger of subtle thermal deformation in the reticle stage or wafer stage and deterioration in positioning precision, alignment precision, and so on. At present, the deterioration in positioning precision and the like caused by the elevated temperature of a measurement apparatus is slight, but as the circuit patterns of semiconductor devices and so forth become even finer in the future, the need to minimize the effect of high measurement apparatus temperatures is expected to grow.

[0011]

In regard to this, the length of the movable mirror can be reduced compared to the movable range of the movable stage by using the stage device disclosed in the above-mentioned Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 7-253304, but this contributes little to making the movable stage itself more compact. Therefore, another way is needed to improve throughput in the exposure step and reduce the effect of the irradiation heat of the exposure light.

[0012]

In addition, there is also a need to improve resolution, depth of focus (DOF), line width control precision, and so forth with an exposure apparatus, and particularly a projection exposure apparatus. When the exposure wavelength is λ and the number of apertures in the projection optical system is N.A., then the resolution R is proportional to $\lambda/\text{N.A.}$, and the depth of focus DOF is proportional to $\lambda/(\text{N.A.})^2$. Accordingly, merely reducing the exposure wavelength λ and increasing the number of apertures N.A. in order to increase the resolution R (make the value of R smaller) results in a depth of focus DOF that is too small.

[0013]

This necessitates the formation on the wafer of a pattern that combines a periodic pattern, such as a line and space (L/S) pattern, with an independent pattern, such as a contact hole (CH) pattern, in order to manufacture a device. As to periodic patterns, for instance, a technique for increasing resolution by narrowing the depth of focus by the so-called modified illumination method has recently been developed, as disclosed in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 4-225514. The phase shift reticle method has also been developed. Similarly, regarding independent patterns, a technique has been developed for substantially increasing depth of focus and the like by a method such as controlling the coherence factor of the illuminating light.

[0014]

In light of these technological trends, double exposure is being given a second look as a method for increasing resolution substantially without making the depth of focus too deep. Specifically, when the double exposure method is applied, the reticle pattern used for a certain layer is split into a plurality of reticle patterns according to the type in question, and each pattern is exposed under its own optimal illumination and exposure conditions, which results in an overall broad depth of focus and a high resolution. Recently, this double exposure method has been applied to a projection exposure apparatus in which a KrF excimer laser or an ArF excimer laser is used as the exposure light, and there have been attempts at exposing a pattern for a device including an L/S pattern with a line width down to just 0.1 μm .

[0015]

However, when this double exposure method is applied to a projection exposure apparatus having a single wafer stage, the alignment, exposure, and other such steps have to be repeatedly carried out in series, which is a drawback in that throughput suffers markedly. In view of this, there has been proposed a projection exposure apparatus with which alignment and exposure can be carried out in parallel. However, when a plurality of wafer stages are thus provided, if an attempt is made to measure the positions of the movable stages of the wafer stages with a single interferometer, then the measurement beam of the corresponding interferometer will be interrupted when the movable stages move a considerable distance, so when the various movable stages are positioned at the exposure position alternately, for example, it is difficult to position the movable stages quickly and with good reproducibility.

[0016]

In light of the above, it is a first object of the present invention to provide a stage device having a plurality of functions, wherein the moving components are made smaller while still allowing these plurality of functions to be executed, so that these moving components can be moved quickly and their positions can be measured with high precision and with good reproducibility. It is a second object of the present invention to provide a stage device with which the moving components can be quickly positioned to their respective target positions with good reproducibility when a plurality of moving components are provided so that double exposure or the like can be performed.

[0017]

It is a third object of the present invention to provide an exposure apparatus equipped with such a stage device, with which the moving components for positioning the reticles or wafers can be made smaller while preserving the function of measuring the characteristics during the transfer of the reticle patterns, the imaging characteristics of the projection optical system, or the like. It is a fourth object of the present invention to provide an exposure apparatus equipped with such a stage device, with which double exposure or another such method can be performed at a high throughput.

[0018]

It is also an object of the present invention to provide a positioning method with which positioning can be carried out quickly using a stage device such as this.

[0019]

Means to Solve Problems

The first stage device according to the present invention is a stage device which includes: a plurality of movable stages (WST, 14) disposed on a specific movement plane so as to be movable independently of each other; and a first

measurement system (15X1, 15X2, 15Y) which measures a position of one of the plurality of movable stages within a predetermined measurement range, wherein this stage device further comprises a second measurement system (16, 17A, 17B) which measures an amount of positional deviation of each of the plurality of movable stages from a predetermined reference position within the predetermined measurement range, or the degree of coincidence of each of the plurality of movable stages with respect to this reference position; wherein a measurement value obtained with the first measurement system is corrected on the basis of the result of the measurement by the second measurement system.

[0020]

In accordance with this first stage device of the present invention, when a plurality of functions such as exposure and characteristic measurement are to be executed, a plurality of movable stages (moving components) are provided, each of which is allocated to a different function (or group of a plurality of functions) of the functions. This allows each movable stage to be smaller, so it can be moved more quickly. However, if a plurality of movable stages are merely provided, and a relative displacement measurement system such as a uniaxial laser interferometer is provided as the first measurement system, then the measurement beam of the laser interferometer will be interrupted if each movable stage moves a considerable distance, so some kind of starting point setting operation is required. In view of this, with the present invention a second measurement system (16, 17A, 17B) is provided as a kind of absolute value measurement system.

[0021]

When one movable stage (WST) among the plurality of movable stages enters the measurement range of the first measurement system from outside this measurement range, the amount of positional deviation of that movable stage from a predetermined reference position within the predetermined measurement range, or the degree of coincidence with respect to this reference position, is measured by the second measurement system, and this positional deviation, for example, is preset to the measurement value obtained with the first measurement system, so that the measurement value obtained with the first measurement system correctly indicates the position of this movable stage in a form with good reproducibility. Alternatively, when the second measurement system measures the degree of coincidence (such as the coincidence of two random patterns), if this degree of coincidence is over a specific level, the measurement value obtained with the first measurement system is reset, or is preset to a specific value. As a result, the movable stages are positioned with high precision, quickly, and with good reproducibility.

[0022]

The second stage device according to the present invention is a stage device which comprises: a plurality of movable stages (WST1, WST2) disposed in a specific movement plane so as to be movable independently of each other; and a first measurement system (87Y3) which measures within a predetermined first measurement range the position of one of the plurality of movable stages, wherein this stage device further comprises: a second measurement system (87Y2, 87Y4) which continuously measures the positions of the plurality of movable stages within a predetermined second measurement range partially overlapping the first measurement range; and a control system (38) which corrects the results of the measurement by the first and second measurement systems on the basis of the results of the measurement by these two measurement systems.

[0023]

In accordance with this second stage device of the present invention, a plurality of stage devices (WST1, WST2) are provided in order to perform double exposure, for example. As a result, if a uniaxial laser interferometer is used as the first measurement system, such as a relative displacement measurement system, for example, then the measurement beam of this laser interferometer will miss its mark if the movable stage should move a considerable distance, so the problem is how to position the movable stages in a reproducible form. The present invention deals with this problem by using the uniaxial (or multi-axial) laser interferometer serving as the relative displacement measurement system as the first measurement system as well. Then, when one of the plurality of movable stages enters the second measurement range from the first measurement range, for example, the position of that movable stage is simultaneously measured by the first and second measurement systems, the measured value of the first measurement system is corrected according to the angle of rotation of that movable stage, and this corrected value is preset to the measured value of second measurement system, which transfers the measured value of the first measurement system to the second measurement system. Thereafter, that movable stage can be positioned with high precision and with good reproducibility using this second measurement system.

[0024]

In this case, the first and second measurement systems may use the degrees of interference (integer) $N1$ and $N2$ and the phases (rad) $\phi1$ and $\phi2$ (with a heterodyne interference method, these correspond to the phase difference between a reference signal and the measurement signal, for instance), and the function $f(\lambda)$ of the wavelength λ of the measurement beam, to measure the position of a movable stage in the form of $f(\lambda)\{N1+\phi/(2\pi)\}$ and $f(\lambda)\{N2+\phi2/(2\pi)\}$. When measurement with the second measurement system is possible and the position of a movable stage is measured simultaneously by the first and second measurement systems, it is

preferable to estimate the degree of interference $N2'$ and the phase $\phi2'$ of the second measurement system from the measured values of the first measurement system and the angle of rotation of the movable stage, and to determine the preset value of the degree $N2$ of the second measurement system from the degree $N2'$, the phase $\phi2'$, and the phase $\phi2$ measured by the second measurement system. From there on, the measured value of the second measurement system is treated as $f(\lambda)\{N2+\phi2/(2\pi)\}$, so even if there is a certain amount of discrepancy in the measurement of the angle of rotation of the movable stage, the position of that movable stage can be measured at the reproducible precision inherent to the second measurement system. The function $f(\lambda)$ is λ/m , using an integer m of at least 2 as an example.

[0025]

The first exposure apparatus according to the present invention is an exposure apparatus equipped with the stage device of the present invention, wherein masks (R1 and R2) on which mutually different patterns are formed are placed on a plurality of movable stages (RST1 and RST2) of this stage device, and the patterns of the masks on this plurality of movable stages are alternately transferred to a substrate (W1) while positioning is being performed.

[0026]

In accordance with this first exposure apparatus of the present invention, exposure can be performed using the double exposure method, and resolution and depth of focus can be increased. In addition, because the stage device of the present invention is equipped, if the position of a movable stage is to be measured by laser interferometer, for instance, the movable mirror installed on that movable stage can be smaller than the movable range of the movable stage, and this allows the movable stage to be lighter. It is therefore easier to move the movable stage quickly, and this affords a higher throughput.

[0027]

The second exposure apparatus according to the present invention is an exposure apparatus equipped with the stage device of the present invention, in which a mask (R) is placed on a first movable stage (RST) of a plurality of movable stages (RST, 5) of this stage device, a characteristic measurement apparatus (6) which measures the characteristics during the transfer of a pattern of the mask is placed on a second movable stage (5), and the pattern of the mask (R) is transferred onto a substrate (W).

[0028]

In accordance with this second exposure apparatus of the present invention, the first movable stage (RST) originally used for exposure is given the minimum function needed for exposure, which allows this first movable stage to be kept to the minimum required size, so the stage can be more compact and lightweight, and

throughput can be increased. Meanwhile, the characteristic measurement apparatus (6) for measuring characteristics during the transfer of the pattern of the mask (R), which is not directly required for exposure, is mounted on a separate second movable stage (5), allowing characteristics to be measured during the transfer of the mask pattern. In addition, the use of the stage device of the present invention allows the positions of a plurality of movable stages to be measured to high precision.

[0029]

The third exposure apparatus according to the present invention is an exposure apparatus equipped with the stage device of the present invention, in which substrates (W1 and W2) are mounted on a plurality of movable stages (WST1 and WST2) of the stage device, and the plurality of substrates are alternately exposed with mask patterns while the plurality of movable stages are alternately positioned at the exposure position.

[0030]

In accordance with this third exposure apparatus of the present invention, while the exposure is being carried out with one movable stage (WST1) out of the plurality of movable stages (WST1 and WST2), substrates can be conveyed in and out and aligned with the other movable stage (WST2), which increases throughput. In addition, the use of the stage device of the present invention allows the positions of the plurality of movable stages to be measured to high precision.

[0031]

The fourth exposure apparatus according to the present invention is an exposure apparatus equipped with the stage device of the present invention and a projection optical system (PL), in which a substrate (W) is placed on the first movable stage (WST) of the plurality of movable stages (WST, 14) of the stage device, a characteristic measurement apparatus (20) which measures the imaging characteristics of the projection optical system is placed on the second movable stage (14), and the substrate on the first movable stage is exposed with a predetermined mask pattern via the projection optical system.

[0032]

In accordance with this fourth exposure apparatus of the present invention, the first movable stage (WST) originally used for exposure is given the minimum function needed for exposure, which allows this first movable stage (WST) to be more compact and lightweight and increases throughput. Meanwhile, the characteristic measurement apparatus (20) for measuring the imaging characteristics of the projection optical system, which is not directly required for exposure, is mounted on a separate second movable stage (14), so imaging characteristics can also be measured. In addition, the use of the stage device of the present invention allows the positions of a plurality of movable stages to be measured to high precision.

[0033]

The first positioning method according to the present invention is a positioning method that makes use of the stage device of the present invention, in which when one movable stage (WST) out of the plurality of movable stages (WST, 14) enters the measurement range of the first measurement system, the amount of positional deviation of the movable stage from a specific reference position within the specific measurement range, or the degree of coincidence with respect to this reference position, is measured by the second measurement system, and the measurement value obtained with the first measurement system is corrected on the basis of the result of the measurement by the second measurement system. This positioning method allows the plurality of movable stages to be positioned with high precision easily and with good reproducibility.

[0034]

The second positioning method according to the present invention is a positioning method that makes use of the stage device of the present invention, in which when one movable stage out of the plurality of movable stages (WST1 and WST2) enters the first measurement range from the second measurement range, the position of the one movable stage is simultaneously measured by the first and second measurement systems, and the result of the measurement by the first measurement system is matched on the basis of these measurement result of the position to the result of the measurement by the second measurement system. This positioning method allows the plurality of movable stages to be positioned with high precision easily and with good reproducibility.

[0035]

Embodiments of the Invention

A first embodiment of the present invention will now be described with reference to FIGS. 1 to 4. This is an example of applying the present invention to a step-and-scan type of projection exposure apparatus. FIG. 1 illustrates the projection exposure apparatus in this example. In FIG. 1, exposure light IL is emitted during the exposure by an illumination system 1 including an exposure light source, a beam shaping optical system, a fly-eye lens for making the illumination distribution uniform, a light quantity monitor, a variable aperture stop, a field stop, a relay lens system, and so forth. This light IL illuminates a slit-shaped illumination region of the pattern side (lower side) of a reticle R via a mirror 2 and a condenser lens 3. This exposure light IL can be excimer laser light such as KrF (248 nm wavelength) or ArF (193 nm wavelength), a higher harmonic wave from a YAG laser, an i-ray from a mercury vapor lamp (365 nm wavelength), or the like. The illumination system 1 is designed so that the variable aperture stop thereof can be switched to allow selection of the desired illumination method from among ordinary illumination methods, zonal

illumination, so-called deformation illumination, illumination with a small coherence factor (σ value), and the like. When the exposure light source is a laser light source, the emission timing thereof and other such factors are controlled by a main control system 10 for the general control of the operations of the apparatus as a whole via a laser light power which is not shown.

[0036]

The image of the pattern in the illumination region 9 (see FIG. 3) produced by illumination of this exposure light IL on the reticle R is reduced by a projection magnification β (β is $1/4$, $1/5$, or another such factor) via the projection optical system PL, and is projected onto a slit-shaped exposure region 12 on a wafer W that has been coated with a photoresist. In the following description, the Z axis extends parallel to the optical axis AX of the projection optical system PL, the X axis follows a non-scanning direction perpendicular to the scanning direction of the wafer W and the reticle R during the scanning exposure in a plane perpendicular to the Z axis (that is, it goes in a direction perpendicular to the viewing plane of FIG. 1), and the Y axis follows the scanning direction (that is, the direction parallel to the paper plane of FIG. 1).

[0037]

First, the reticle R is vacuum chucked to the reticle stage RST, and the reticle stage RST is placed on two guides 4A and 4B (disposed in parallel) such that it can move in the Y direction via an air bearing. In this example, the measurement stage 5 is placed on the guides 4A and 4B such that it can move in the Y direction via an air bearing independently of the reticle stage RST.

[0038]

FIG. 3 is a plan view of the reticle stage RST and the measurement stage 5. In FIG. 3, the reticle stage RST and the measurement stage 5 are placed so that they are each driven in the Y direction (scanning direction) by a linear motor or the like (not shown) along the guides 4A and 4B extending in the Y direction. The length of the guides 4A and 4B is set to be greater by at least the width of the measurement stage 5 than the movement stroke of the reticle stage RST during the scanning exposure. The reticle stage RST comprises a combination of a coarse moving stage that moves in the Y direction and a fine moving stage with which the two-dimensional position on this coarse moving stage can be fine tuned. On the reticle stage RST is fixed a pair of reference mark plates 17C1 and 17C2 in a positional relationship that sandwiches the reticle R in the X direction, and two-dimensional plus-shaped (for example) reference marks MC1 and MC2 are formed in the reference mark plates 17C1 and 17C2, respectively. The positional relationship of the reference marks MC1 and MC2 to the original pattern of the reticle R is measured ahead of time with high precision and recorded in the memory component of the main control system 10.

[0039]

A reference plate 6 composed of a slender (in the X direction) sheet of glass is fixed over the measurement stage 5, and a plurality of index marks IM for measuring the imaging characteristics of the projection optical system PL are formed on the reference plate 6. The reference plate 6 is big enough to cover the slit-shaped illumination region 9 of the exposure light on the reticle R, or more accurately, to cover the field of vision in the X direction on the reticle R side of the projection optical system PL. Use of the reference plate 6 eliminates the need to ready a dedicated reticle for measuring imaging characteristics and saves the time that would otherwise be spent replacing the dedicated reticle and the exposure light reticle R, so imaging characteristics can be measured with high precision and changes in the projection optical system PL over time can be accurately tracked. The measurement stage 5 is provided with a positioning mechanism used within a fine range in the X direction (the non-measurement direction). Moreover, a pair of reference mark plates 17D1 and 17D2 is fixed on the measurement stage 5 so as to sandwich the reference plate 6 in the X direction, and two-dimensional plus-shaped (for example) reference marks MD1 and MD2 are formed in the reference mark plates 17D1 and 17D2, respectively. The positional relationship of the reference marks MD1 and MD2 to the plurality of index marks IM is also accurately measured ahead of time and recorded in the memory component of the main control system 10.

[0040]

Thus, in this example, the measurement stage 5 for the reference plate 6 is provided independently from the reticle stage RST, and no other measurement member besides the reticle R is placed on the original reticle stage RST. Specifically, the reticle stage RST is only provided with scanning and positioning functions, which are the minimum requirement for scanning exposure, so the reticle stage RST is more compact and lightweight. Therefore, the reticle stage RST can be scanned at a higher speed, and this increases the throughput of the exposure step. Particularly, in the case of reduced projection, the scanning speed of the reticle stage RST is $1/\beta$ times the scanning speed of the wafer stage (such as 4 or 5 times), so the upper limit to the scanning speed is more or less determined by the reticle stage, in which case the increase in throughput is particularly great.

[0041]

In addition, a laser beam is emitted from a laser interferometer 7Y disposed in the +Y direction with respect to the guides 4A and 4B and directed at a movable mirror 24Y on the side surface in the +Y direction of the reticle stage RST. A laser beam is emitted from biaxial laser interferometers 7X1 and 7X2 disposed in the +X direction and directed at a movable mirror 24X on the side surface in the +X direction of the reticle stage RST. The X coordinate, Y coordinate, and angle of rotation of the

reticle stage RST are measured by the laser interferometers 7Y, 7X1, and 7X2, the measurement values are supplied to the main control system 10 in FIG. 1, and the main control system 10 controls the speed and position of the reticle stage RST via linear motors or the like on the basis of these measurement values. Moreover, a laser beam is also emitted from a laser interferometer 8Y disposed in the -Y direction with respect to the guides 4A and 4B and directed at a movable mirror 25Y on the side surface in the -Y direction of the measurement stage 5, and the Y coordinate of the measurement stage 5 as measured by the laser interferometer 8Y is supplied to the main control system 10. The optical axes of the Y-axis laser interferometers 7Y and 8Y each pass through the center of the illumination region 9 in the Y direction, that is, through the optical axis AX of the projection optical system PL, and the laser interferometers 7Y and 8Y measure the positions of the reticle stage RST and the measurement stage 5 in the scanning direction at all times.

[0042]

The perpendicular side surfaces of the reticle stage RST may be mirror finished and these mirror surfaces may be considered to be the movable mirrors 24X and 24Y, and the perpendicular side surfaces of the measurement stage 5 may also be mirror finished and these mirror surfaces may be considered to be the movable mirrors 25X and 25Y. In addition, in this example, as shown in FIG. 1, a pair of reticle alignment microscopes RA and RB may be disposed above the reticle R for detecting the amount of positional deviation of an alignment mark (reticle mark) formed on the reticle R from a reference mark (not shown) on the corresponding wafer stage. The straight line passing through the detection centers of the reticle alignment microscopes RA and RB is parallel to the X axis, and the center of these detection centers matches up with the optical axis AX. In this example, the reticle alignment microscopes RA and RB corresponding to the second measurement system of the present invention (absolute value measurement system) are used to detect the positions of the reference marks MC1 and MC2 on the reticle stage RST and the reference marks MD1 and MD2 on the measurement stage 5 as shown in FIG. 3.

[0043]

If the reticle stage RST should be shunted in the +Y direction during the measurement of imaging characteristics and the measurement stage 5 moved in the Y direction so that the reference plate 6 more or less covers the illumination region 9, then the laser beams from the laser interferometers 7X1 and 7X2 will diverge from the side surface of the reticle stage RST and illuminate the movable mirror 25X in the +X direction of the measurement stage 5. At this point, the amounts of positional deviation from the detection centers (field center) of the reference marks MD1 and MD2 on the reference plate 6 are detected by the reticle alignment microscopes RA and RB, respectively, and the main control system 10 in FIG. 1 positions the

measurement stage 5 so that the centers of the reference marks MD1 and MD2 will be symmetrical to the corresponding detection centers and the amount of positional deviation will be as small as possible. In this state, the measurement values obtained with the X-axis laser interferometers 7X1 and 7X2 are reset. These measurement values may also be preset to a specific value.

[0044]

After this, the angle of rotation and position of the measurement stage 5 in the X direction are measured with high precision and with good reproducibility by the laser interferometers 7X1 and 7X2, and the position of the measurement stage 5 in the Y direction is constantly measured with high precision by the laser interferometer 8Y. Therefore, the main control system 10 can precisely control the position of the measurement stage 5 via linear motors or the like on the basis of these measurement values. Alternatively, instead of minimizing the amounts of positional deviation of the reference marks MD1 and MD2 as above, the measurement values obtained with the laser interferometers 7X1 and 7X2 may be preset to corresponding values on the basis of these amounts of positional deviation.

[0045]

Meanwhile, the position of the reticle stage RST in the non-scanning direction is not measured during the above measurement, but if the reticle stage RST comes under the illumination region 9 for exposure, then the movable mirror 24X of the reticle stage RST will once again be illuminated by the laser beams from the laser interferometers 7X1 and 7X2. Just as with the measurement stage 5, the reticle alignment microscopes RA and RB are used to detect the amounts of positional deviation of the reference marks MC1 and MC2 on the reticle stage RST from the detection centers of the reticle alignment microscopes RA and RB, and the main control system 10 presets the measurement values obtained with the laser interferometers 7X1 and 7X2 to specific values when the reticle stage RST has been positioned so that these amounts of positional deviation are symmetrical and at a minimum. After this, the angle of rotation and position of the reticle stage RST in the X direction are measured with good reproducibility, and the position in the Y direction is constantly measured by the laser interferometer 7Y, so the reticle stage RST can be positioned at the desired position with high precision. Therefore, there is no inconvenience that the laser beams from the laser interferometers 7X1 and 7X2 are interrupted.

[0046]

Returning to FIG. 1, the wafer W is held on the wafer stage WST via a wafer holder (not shown), so that the wafer stage WST is able to move in the X and Y directions via an air bearing over a surface table 13. A focus leveling mechanism for controlling the angle of inclination and the position of the wafer W in the Z direction

(the focal position) is also incorporated into the wafer stage WST. The measurement stage 14, which is equipped with various measurement devices, is placed on the surface table 13 such that it can move in the X and Y directions via an air bearing independently of the wafer stage WST. A mechanism for controlling the focal position is also incorporated into the measurement stage 14 on the upper surface thereof.

[0047]

FIG. 2 is a plan view of the wafer stage WST and the measurement stage 14. In FIG. 2, a series of coils are embedded for example in a specific layout inside the surface table 13 on its top side, yokes and a series of magnets are embedded at the bottom of the wafer stage WST and the bottom of the measurement stage 14, and the coils and corresponding magnets make up planar motors. These planar motors independently control the angles of rotation and the positions of the wafer stage WST and the measurement stage 14 in the X and Y directions. Details of a planar motor are disclosed in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 8-51756, for instance.

[0048]

The wafer stage WST in this example is furnished with the minimum functions required for exposure. Specifically, the wafer stage WST is equipped with a focus leveling function, and a wafer holder (on the bottom of the wafer W) for holding the wafer W by suction and a reference mark plate 17A on which a reference mark MA is formed for measuring the position of the wafer stage WST are provided on the wafer stage WST. A reference mark (not shown) for reticle alignment is also formed on the reference mark plate 17A.

[0049]

As shown in FIG. 1, a wafer alignment sensor 16 of the type with which imaging is performed by an off-axis method for the alignment of the wafer W is provided adjacent to the projection optical system PL. The detection signals of the wafer alignment sensor 16 are supplied to an alignment processing system in the main control system 10. The wafer alignment sensor 16 is used to measure the position of the alignment marks (wafer marks) provided to shot regions on the wafer W. In this example, the wafer alignment sensor 16 is used to detect the position of the reference marks MA on the wafer stage WST, for example. Specifically, the wafer alignment sensor 16 corresponds to the second measurement system (absolute value measurement system) of the present invention.

[0050]

The surface of the measurement stage 14 is set at approximately the same height as the surface of the wafer W on the wafer stage WST. In FIG. 2, to the measurement stage 14 are fixed an illumination quantity monitor 18 comprising a

photoelectric sensor for measuring the energy (incident energy) per unit of time for all of the exposure light that has passed through the projection optical system PL, a brightness unevenness sensor 19 comprising a photoelectric sensor for measuring the brightness distribution within the slit-shaped exposure region 12 produced by the projection optical system PL, a measurement board 20 on which are formed slits 21X and 21Y for measuring imaging characteristics, and a reference marker plate 17B on which is formed a reference mark MB that serves as a position reference. The positional relationship between the reference mark MB and the brightness unevenness sensor 19, etc., is measured in advance with high precision and stored in the memory component of the main control system 10 in FIG. 1. The position of the reference mark MB is also measured by the wafer alignment sensor 16.

[0051]

Condensing lenses and photoelectric sensors are disposed on the bottom surfaces of the X axis slit 21X and Y axis slit 20Y in the measurement board 20, and a spatial image detection system is constituted by the measurement board 20, the photoelectric sensors, and so forth. The edges of a rectangular aperture may be used in place of the slits 21X and 21Y. The light-receiving surface of the illumination quantity monitor 18 is formed to be large enough to cover the exposure region 12, the light-receiving portion of the brightness unevenness sensor 19 is in the form of a pinhole, and the detection signals of the illumination quantity monitor 18 and the brightness unevenness sensor 19 are supplied to the main control system 10 in FIG. 1.

[0052]

The detection signal of the photoelectric sensor at the bottom of the measurement board 20 is supplied to the imaging characteristic computation system 11 shown in FIG. 1. In this case, during the measurement of the imaging characteristics of the projection optical system PL, the reference plate 6 on the measurement stage 5 on the reticle side in FIG. 3 is moved to the illumination region 9, the image of the index marks IM formed on the reference plate 6 is projected to the wafer stage side, and this image is scanned in the X and Y directions with the slits 21X and 21Y on the measurement board 20 while the detection signal from the photoelectric sensor on the bottom is taken in by the imaging characteristic computation system 11. The imaging characteristic computation system 11 processes this detection signal and detects the position, contrast, and so forth of the index marks IM, determines from this detection result the imaging characteristics such as the planar curvature of the projected image, distortion, and the best focal position, and outputs these to the main control system 10. Although not shown in the figures, there is also provided a mechanism for driving a specific lens in the projection optical system PL to correct a specific imaging characteristic such as distortion, and the main

control system 10 is designed so that the imaging characteristics of the projection optical system PL can be corrected via this correction mechanism.

[0053]

The sensors in FIG. 2, such as the photoelectric sensors at the bottom of the illumination quantity monitor 18, brightness unevenness sensor 19, and measurement board 20 provided to the measurement stage 14, are all connected to power sources, heat generating sources such as an amp, or communications signal cables. Therefore, if these sensors are mounted on the wafer stage WST used for exposure, there is the danger that the heat source attached to a sensor or tension on a signal cable may adversely affect the positioning precision. There is also the danger that the thermal energy produced by irradiation with the exposure light during the measurement of imaging characteristics and so forth may lead to lower positioning precision. To deal with this, in this example, these sensors are provided to the measurement stage 14, which is separate from the wafer stage WST used for exposure, so the wafer stage WST can be more compact and lightweight, and this also prevents any decrease in positioning precision due to the thermal energy of exposure light during the measurement or to a heat source of the sensors used for measurement. Furthermore, reducing the size of the wafer stage WST raises the wafer stage WST movement speed and controllability, improves the throughput of the exposure step, and enhances positioning precision and the like.

[0054]

In addition, a laser beam is emitted from a laser interferometer 15Y disposed in the +Y direction with respect to the surface table 13 and directed at a movable mirror 22Y on the side surface in the +Y direction of the wafer stage WST. A laser beam is emitted from biaxial laser interferometers 15X1 and 15X2 disposed in the -X direction and directed at a movable mirror 22X on the side surface in the -X direction of the wafer stage WST. The X coordinate, Y coordinate, and angle of rotation of the wafer stage WST are measured by the laser interferometers 15Y, 15X1, and 15X2. The measurement values are supplied to the main control system 10 in FIG. 1, and the main control system 10 controls the speed and position of the wafer stage WST via planar motors on the basis of these measurement values. Similarly, an X axis movable mirror 23X and a Y axis movable mirror 23Y are attached to the side surfaces of the measurement stage 14. The perpendicular side surfaces of the wafer stage WST may be mirror finished and these mirror surfaces considered to be the movable mirrors 22X and 22Y, and similarly the perpendicular side surfaces of the measurement stage 14 may also be mirror finished and these mirror surfaces considered to be the movable mirrors 23X and 23Y.

[0055]

During the measurement of the incident energy of the exposure light, for instance, the laser beams used for measuring these positions are directed at the movable mirrors 23X and 23Y of the measurement stage 14. FIG. 4 illustrates an example of the layout of the wafer stage WST and the measurement stage 14 during the measurement of the incident energy of the exposure light or the like. If the wafer stage WST should be shunted to a position away from the exposure region 12 and the measurement stage 14 moved so as to come into the exposure region 12, the laser beams from the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y will diverge from the movable mirrors 22X and 22Y of the wafer stage WST and be directed at the movable mirrors 23X and 23Y of the measurement stage 14. At this point, the measurement stage 14 is moved so that the reference mark MB on the measurement stage 14 will enter the field 16a of the wafer alignment sensor 16 shown in FIG. 1, and the angle of rotation of the measurement stage 14 is adjusted so that the measurement values obtained with the biaxial X-axis laser interferometers 15X1 and 15X2 are the same. In this state, the amount of positional deviation from the detection center of the reference mark MB is detected. The main control system 10 presets the X and Y components of this amount of positional deviation to the measurement values obtained with the laser interferometers 15X1 and 15X2 and the laser interferometer 15Y. After this, the position of the measurement stage 14 is measured with high precision and with good reproducibility by the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y, and the main control system 10 controls the position of the measurement stage 14 with high precision via planar motors on the basis of these measurement values.

[0056]

Meanwhile, during the exposure, as shown in FIG. 2, the measurement stage 14 is shunted and the laser beams from the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y are directed at the movable mirrors 22X and 22Y of the wafer stage WST, the reference mark MA is moved into the field 16a of the wafer alignment sensor 16, and the amount of positional deviation from the detection center of the field 16a of the reference mark MA is measured in a state in which the measurement values obtained with the laser interferometers 15X1 and 15X2 coincide. The measurement values obtained with the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y are preset on the basis of these measurement values of the positional deviation. After this, the wafer stage WST is positioned with high precision and with good reproducibility. Since the positions of the wafer stage WST and the measurement stage 14 can be roughly controlled by driving the planar motors with an open loop, the main control system 10 varies the positions of the wafer stage WST and the measurement stage 14 by driving the planar motors by an open loop method in a state where they are not irradiated with the light beams.

[0057]

Returning to FIG. 1, although not depicted, a grazing incidence type of focal position detection system (AF sensor) for measuring the focal position of the surface of the wafer W is disposed on the side surface of the projection optical system PL, and the surface of the wafer W being scanned and exposed is focused on the image plane of the projection optical system PL on the basis of this detection result. Next, the operation of the projection exposure apparatus in this example will be described. First, the quantity of exposure light IL incident on the projection optical system PL is measured using the measurement stage 14 on the wafer stage side. In this case, in order to measure the quantity of incident light with the reticle R in a loaded state, in FIG. 1, a reticle R for exposure is loaded onto the reticle stage RST, and the reticle R moves into the illumination region of the exposure light IL. After this, as shown in FIG. 4, the wafer stage WST is shunted in the +Y direction, for example, on the surface table 13, and the measurement stage 14 moves toward the exposure region 12 of the projection optical system PL. After this, the presetting of the measurement values obtained with the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y is carried out as above, the measurement stage 14 is then halted at the position where the light-receiving surface of the illumination quantity monitor 18 on the measurement stage 14 covers the exposure region 12, and in this state the quantity of exposure light IL is measured through the illumination quantity monitor 18.

[0058]

The main control system 10 supplies this measured quantity of light to the imaging characteristic computation system 11. Here, the value obtained by detecting the light flux branching off from the exposure light IL in the illumination system 1, for instance, is also supplied to the imaging characteristic computation system 11, and the imaging characteristic computation system 11 calculates and stores a coefficient for indirectly computing the quantity of light incident on the projection optical system PL from the quantity of light monitored in the illumination system 1 on the basis of the two measurement values. During this interval, a wafer W is loaded on the wafer stage WST. After this, as shown in FIG. 2, the measurement stage 14 is shunted to a position away from the exposure region 12, while the wafer stage WST moves toward the exposure region 12. While the wafer stage WST is shunted, as shown in FIG. 4, it is not irradiated with the laser beams from the laser interferometers 15Y, 15X1, and 15X2, so positional control is performed, for example, by driving the planar motors by open loop method.

[0059]

The measurement stage 14 is shunted away from the exposure region 12, the wafer stage WST is moved to a position in the exposure region 12, and the presetting of the measurement values obtained with the laser interferometers 15Y, 15X1, and 15X2 is carried out as above, after which the wafer stage WST is moved so that the

center of the reticle-use reference mark (not shown) for the reticle on the reference mark plate 17A on the wafer stage WST is located close to the optical axis AX (the center of the exposure region 12). After this, the reticle R is aligned using the reticle alignment microscopes RA and RB by driving the reticle stage RST in FIG. 1 so that positional deviation between the reticle mark on the reticle R and the corresponding reference mark on the reference mark plate 17A will be within a specific range of tolerance. Approximately simultaneously with this, the position of another reference mark MA on the reference mark plate 17A is again detected by the wafer alignment sensor 16 shown in FIG. 1, whereby the interval (baseline quantity) between the detection center of that sensor and the center of the projected image of the reticle R is correctly detected.

[0060]

Next, the layout coordinates of the various shot regions of the wafer W are determined by detecting through the wafer alignment sensor 16 the position of the wafer mark provided to a specific shot region (sample shot) on the wafer W. After this, scanning exposure is performed while the shot region to be exposed of the wafer W is aligned with the pattern image of the reticle R on the basis of these layout coordinates and the above-mentioned baseline quantity. As shown in FIG. 1, during the scanning exposure of the various shot regions on the wafer W, the reticle R is scanned at a speed of VR in the +Y direction (or -Y direction) through the reticle stage RST with respect to the illumination region 9 of the exposure light IL (see FIG. 3), and in synchronization with this, the wafer W is scanned at a speed of $\beta \cdot VR$ (β is the projection magnification) in the -X direction (or +X direction) through the wafer stage WST with respect to the exposure region 12.

[0061]

During the exposure, the quantity of light of the light flux branching off from the exposure light IL in the illumination system 1, for instance, is supplied to the imaging characteristic computation system 11. The imaging characteristic computation system 11 calculates the quantity of exposure light IL incident on the projection optical system PL on the basis of the supplied measurement value for quantity of light and a predetermined coefficient, calculates the amount of change in the imaging characteristics of the projection optical system PL (projection magnification, distortion, etc.) due to the absorption of the exposure light IL, and supplies this calculation result to the main control system 10. The main control system 10 corrects the imaging characteristics by driving a specific lens in the projection optical system PL, for instance.

[0062]

The above description is of ordinary exposure, but when the status of the device is determined for the maintenance of the projection exposure apparatus in this

example, for instance, the measurement stage 14 is moved to the exposure region 12 side for this measurement. For example, when the uniformity of brightness in the exposure region 12 is measured, the reticle R is removed from the reticle stage RST, after which the brightness distribution is measured while the brightness unevenness sensor 19 is moved in the X and Y directions within the exposure region 12, as shown in FIG. 4.

[0063]

Next, the operation of using the measurement stage 5 on the reticle stage side and the measurement stage 14 on the wafer stage side to measure the imaging characteristics of the projection optical system PL will be described. In this case, as shown in FIG. 3, the reticle stage RST is shunted in the +Y direction, and the reference plate 6 on the measurement stage 5 is moved into the illumination region 9. At this point the laser beams of the laser interferometers 7X1 and 7X2 in the non-scanning direction are directed at the measurement stage 5, and the resetting (or presetting) of the measurement values is performed as above using the reticle alignment microscopes RA and RB. After this, the measurement stage 5 is positioned with high precision on the basis of the measurement values obtained with the laser interferometers 7X1, 7X2, and 8Y.

[0064]

Here, as already described, the images of the plurality of index marks IM are projected on the wafer stage side via the projection optical system PL. In this state, as shown in FIG. 4, the measurement stage 14 is driven and the images of these index marks IM are scanned in the X and Y directions with the slits on the measurement board 20, and the detection signals from the photoelectric sensors on the bottom of the measurement board 20 are processed by the imaging characteristic computation system 11, by which the position and contrast of these images are determined. The position and contrast of these images are also determined while the focal position of the measurement board 20 is varied a certain amount at a time. From these measurement results, the imaging characteristic computation system 11 determines the amount of fluctuation in imaging characteristics, namely, the best focal position of the projected image of the projection optical system PL, the image plane curvature, and distortion (including magnification error). The amount of fluctuation is supplied to the main control system 10, and if this fluctuation exceeds a tolerable range, the main control system 10 corrects the imaging characteristics of the projection optical system PL.

[0065]

As discussed above, with the projection exposure apparatus in this example, the positions of the reference marks MA and MB are detected by the wafer alignment sensor 16, and the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y are preset on the basis

of this position information. Therefore, the position of the wafer stage WST or the measurement stage 14 can be measured with high precision and with good reproducibility by the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y. Similarly, by detecting the positions of the reference marks MC1 and MC2 or MD1 and MD2 using the reticle alignment microscopes RA and RB, and resetting the laser interferometers 7X1 and 7X2, for instance, the position of the reticle stage RST or the measurement stage 5 can be measured with high precision and with good reproducibility.

[0066]

The second embodiment of the present invention will now be described with reference to FIGS. 5 to 12. This is an example of applying the present invention to a step-and-scan type of projection exposure apparatus in which exposure is performed by the double exposure method. FIG. 5 shows the simplified structure of the projection exposure apparatus in this example. In FIG. 5, the projection exposure apparatus of this example comprises a stage device equipped with wafer stages WST1 and WST2 as a plurality of movable stages for supporting and independently moving two-dimensionally wafers W1 and W2 as sensitive substrates on a base plate 86; a projection optical system PL1 disposed above this stage device; a reticle drive mechanism for driving in a specific scanning direction a reticle R1 or R2 (see FIG. 6) as a mask above the projection optical system PL1; an illumination system for illuminating the reticles R1 and R2 from above; and a control system for controlling these various components. In the following discussion, the Z axis extends parallel to the optical axis AX1 of the projection optical system PL1, the X axis is parallel to the viewing plane in FIG. 5 within a plane perpendicular to the Z axis, and the Y axis is perpendicular to the viewing plane in FIG. 5. In this example, the scanning direction is the direction parallel to the Y axis (the Y direction).

[0067]

First, the stage device is supported floating on an air bearing (not shown) over the base plate 86, and is equipped with two wafer stages WST1 and WST2 capable of independent movement in the X and Y directions, a wafer stage drive system 81W for driving these wafer stages WST1 and WST2, and an interferometer system for measuring the positions of the wafer stages WST1 and WST2.

[0068]

This configuration will now be described in further detail. A plurality of air pads (such as vacuum pre-loaded air bearings; not shown) are provided on the bottoms of the wafer stages WST1 and WST2, and the wafer stages WST1 and WST2 are supported floating above the base plate 86 in a state in which a gap of a few microns, for example, is maintained through the balance between the vacuum pre-pressure and the air discharge force of these air pads.

[0069]

FIG. 7 shows the drive mechanism of the wafer stages WST1 and WST2. In FIG. 7, two X axis linear guides 95A and 95B extending in the X direction are provided in parallel on the base plate 86. A set of permanent magnets for a linear motor is fixed along each of the X axis linear guides 95A and 95B, and two movable members 93A and 93C and two movable members 93B and 93D are provided movably along these X axis linear guides 95A and 95B, respectively. To the bottom of each of these four movable members 93A to 93D is attached a drive coil (not shown) so as to surround the X axis linear guides 95A and 95B from the sides and from above. These drive coils and the X axis linear guides 95A and 95B make up moving coil linear motors that drive the movable members 93A to 93D in the X direction. For the sake of convenience, in the following description, these movable members 93A to 93D will be referred to as "X axis linear motors."

[0070]

Of these, the two X axis linear motors 93A and 93B are provided to both ends of a Y axis linear guide 94A extending in the Y direction, and the other two X axis linear motors 93C and 93D are fixed to both ends of a Y axis linear guide 94B also extending in the Y direction. A set of drive coils for a linear motor is fixed in the Y direction along each of the Y axis linear guides 94A and 94B. Therefore, the Y axis linear guide 94A is driven in the X direction along the X axis linear guides 95A and 95B by the X axis linear motors 93A and 93B, and the Y axis linear guide 94B is driven in the Y direction along the X axis linear guides 95A and 95B by the X axis linear motors 93C and 93D.

[0071]

Meanwhile, a set of permanent magnets (not shown) is provided to the bottom of the wafer stage WST1 so as to surround one of the Y axis linear guides 94A from the sides and above, and these permanent magnets and the Y axis linear guide 94A make up a moving magnet linear motor that drives the wafer stage WST1 in the Y direction. Similarly, a moving magnet linear motor that drives the wafer stage WST2 in the Y direction is made up of a set of permanent magnets (not shown) provided to the bottom of the wafer stage WST2 and the Y axis linear guide 94B.

[0072]

Specifically, in this example a stage system for two-dimensionally and independently driving the wafer stages WST1 and WST2 over the XY plane is constituted of the above-mentioned X axis linear guides 95A and 95B, the X axis linear motors 93A to 93D, the Y axis linear guides 94A and 94B, the permanent magnets (not shown) on the bottoms of the wafer stages WST1 and WST2, and so forth. These wafer stages WST1 and WST2 are controlled by a stage controller 38 via the stage drive system 81W in FIG. 5. The operation of the stage controller 38 is controlled by a main controller 90.

[0073]

It is also possible to generate or eliminate a subtle yawing in the wafer stage WST1 by slightly varying the balance of propulsion of the pair of X axis linear motors 93A and 93B provided to both ends of the Y axis linear guide 94A. Similarly, a subtle yawing can be generated or eliminated in the wafer stage WST2 by slightly varying the balance of propulsion of the pair of X axis linear motors 93C and 93D. Wafers W1 and W2 are fixed by vacuum chucking or the like on these wafer stages WST1 and WST2 via wafer holders (not shown). The wafer holders are finely driven in the Z direction and the θ direction (the direction of rotation around the Z axis) by a Z/ θ drive mechanism (not shown).

[0074]

The side surfaces of the wafer stage WST1 in the -X and +Y directions are mirror finished to produce reflective surfaces 84X and 84Y (see FIG. 6). Similarly, the side surfaces of the wafer stage WST2 in the +X and +Y directions are mirror finished to produce reflective surfaces 85X and 85Y. These reflective surfaces correspond to movable mirrors, and by projecting measurement beams 92X2, 92X5, and 92Y1 to 92Y consisting of laser beams from the various laser interferometers that make up the interferometer system (discussed below) onto these reflective surfaces and receiving the reflected light with the various laser interferometers, the displacement of the various reflective surfaces from a reference surface (a reference mirror is generally disposed on the projection optical system side surface or on the alignment optical system side surface, and this mirror is used as a reference surface) is measured, whereby the two-dimensional positions of the wafer stages WST1 and WST2 are measured. The structure of the interferometer system will be described in detail below.

[0075]

In FIG. 5, a refraction optical system that comprises a plurality of lens elements sharing an optical axis in the Z direction, and that is telecentric on the sides and has a specific reduction factor, such as 1/5, is used as the projection optical system PL1. A reflection refraction system or a reflection system may also be used as the projection optical system PL1. As shown in FIG. 5, off-axis alignment systems 88A and 88B both having the same functions are provided to the X direction ends of the projection optical system PL1 at positions an equal distance away from the optical axis AX1 of the projection optical system PL1 (corresponds to the center of the projected image of the reticle pattern). These alignment systems 88A and 88B have three types of alignment sensor: an LSA (Laser Step Alignment) system with a slit-shaped laser beam; an imaging type of FIA (Field Image Alignment) system; and an LIA (Laser Interferometric Alignment) system that detects diffracted light from two heterodyne beams, for example. These alignment systems 88A and 88B allow

positional measurement in two dimensions (the X and Y directions) for the reference mark on the reference mark plate and the alignment mark on a wafer. In this example, these three types of alignment sensor are used as dictated by the situation at hand, and perform so-called search alignment in which the positions of three one-dimensional marks on a wafer are detected to measure the approximate position of the wafer, fine alignment in which the positions of the various shot regions on a wafer are accurately measured, and so on.

[0076]

In this case, one of the alignment systems 88A is used, for instance, to measure the position of the alignment mark on the wafer W1 supported on the wafer stage WST1. The other alignment system 88B is used, for instance, to measure the position of the alignment mark on the wafer W2 supported on the wafer stage WST2. The detection signals from the alignment sensors that constitute these alignment systems 88A and 88B are sent to an alignment controller 80. The alignment controller 80 subjects the detection signals to A/D (analog/digital) conversion and subjects the digitized waveform signals to computation processing to detect the mark position. This detection result is sent to a main controller 90, and information such as position correction during the exposure is output from the main controller 90 to the stage controller 38 according to this detection result.

[0077]

Although not depicted in the figures, the projection optical system PL1 and the alignment systems 88A and 88B are each provided with an autofocus/autoleveling measurement mechanism (hereinafter referred to as the "AF/AL system") for detecting the amount of defocus from the best focal position of the exposure side of the wafer W1 (or W2). Of these, a so-called grazing incidence type of multipoint AF system is used as the AF/AL system for the projection optical system PL1. The same AF/AL system is provided to the alignment systems 88A and 88B as well. Specifically, in this example the detection beam can be directed by the AF/AL system used during the alignment sequence for approximately the same measurement region as the AF/AL system used in the detection of the amount of defocus during the exposure. Accordingly, the position of the alignment mark can be measured with high precision and at the same focusing precision as the exposure during the alignment sequence in which the alignment systems 88A and 88B are used as well. Put another way, no offset (error) is produced by the attitude of the stage between exposure and alignment.

[0078]

Next, the reticle drive mechanism will be described with reference to FIGS. 5 and 6. This reticle drive mechanism comprises a reticle stage RST1 capable of two-dimensional movement in the XY plane and supporting a reticle R1 over a reticle base

table 79; a reticle stage RST2 capable of two-dimensional movement and supporting a reticle R2 in the same movement plane; a linear motor (not shown) for driving these reticle stages RST1 and RST2; and a reticle interferometer system that manages the positions of these reticle stages RST1 and RST2.

[0079]

To describe this in further detail, as shown in FIG. 6, these reticle stages RST1 and RST2 are disposed in series in the scanning direction (Y direction), are supported floating over the reticle base table 79 by air bearings (not shown), and are finely driven in the X direction, finely rotated in the θ direction, and scan-driven in the Y direction by a reticle stage drive mechanism 81R (see FIG. 5). The drive source of the reticle stage drive mechanism 81R is the same linear motor as for the stage device for wafer, but is depicted as a simple block in FIG. 5 for the sake of simplicity. Accordingly, when the reticles R1 and R2 on the reticle stages RST1 and RST2 are used selectively in double exposure, for instance, either of the reticles R1 and R2 can be scanned synchronously with the wafers W1 and W2.

[0080]

Movable mirrors 82A and 82B composed of the same material as the reticle stages RST1 and RST2 (such as a ceramic) extend in the Y direction from the +X direction side surfaces on these reticle stages RST1 and RST2. Measurement beams 91X1 and 91X5 consisting of laser beams are emitted from laser interferometers (hereinafter referred to simply as "interferometers") 83X1 to 83X5 and directed at the +X direction reflective surfaces of these movable mirrors 82A and 82B, this reflected light is received by the interferometers 83X1 to 83X5, and the relative displacement with respect to a specific reference surface is measured, whereby the positions of the reticle stages RST1 and RST2 in the X direction are measured. Here, the measurement beam 91X3 from the interferometer 83X3 actually has two measurement beams separated in the Y direction and capable of independently measuring displacement. The positions of the reticle stages RST1 and RST2 in the X direction and the amount of yaw (the angle of rotation around the Z axis) can be measured from these two measurement values.

[0081]

In this example, the spacing between the measurement beams 91X1 to 91X5 in the Y direction is set shorter than the width of the movable mirrors 82A and 82B in the Y direction, which results in the movable mirrors 82A and 82B being irradiated by one of the measurement beams 91X1 to 91X5 at all times. At some point in time, two adjacent measurement beams (such as 91X1 and 91X2) will end up being directed at the same movable mirror (such as 82B) at the same time, and this state can be viewed as the corresponding interferometers 83X1 and 83X2 partially overlapping the measurement region. As a result, as will be discussed below, the measurement values

measured by the interferometers 83X1 to 83X4 can be successively transferred with high precision to the measurement values measured by the interferometers 83X2 to 83X5. The measurement values measured by the interferometers 83X1 to 83X5 are supplied to the stage controller 38 in FIG. 5, and the stage controller 38 performs rotational control and X direction positional control of the reticle stages RST1 and RST2 via the reticle stage drive mechanism 81R on the basis of these measurement values in order to correct the synchronization error between the wafer stages WST1 and WST2.

[0082]

Meanwhile, in FIG. 6, corner cubes 89A and 89B are disposed as a pair of movable mirrors at the -Y direction end of the first reticle stage RST1 in the scanning direction. Measurement beams 91Y1 and 91Y2 each consisting of two laser beams (in FIG. 6, only one measurement beam is illustrated as a representative) are emitted from a pair of double-pass interferometers (not shown) and directed at these corner cubes 89A and 89B. The relative displacement in the Y direction of the reticle stage RST1 with respect to a specific reference surface is measured by this pair of interferometers not shown in the figures. A pair of corner cubes 89C and 89D is also disposed at the +Y direction end of the second reticle stage RST2, measurement beams 91Y3 and 91Y4 (each actually consisting of two laser beams) are emitted from a pair of double-pass interferometers 83Y3 and 83Y4 and directed at these corner cubes 89C and 89D. The displacement in the Y direction of the reticle stage RST2 is measured by the interferometers 83Y3 and 83Y4.

[0083]

The measurement values obtained with these double-pass interferometers are also supplied to the stage controller 38 in FIG. 5, and the positions of the reticle stages RST1 and RST2 in the Y direction are controlled on the basis of these measurement values. Specifically, in this example, the interferometers system used for the reticle system is constituted of the interferometers 83X1 to 83X5 having measurement beams 91X1 to 91X5, and the two pairs of double-pass interferometers having measurement beams 91Y1 and 91Y2 and measurement beams 91Y3 and 91Y4. The interferometers 83X1 to 83X5 are represented by the interferometer 83 in FIG. 5, and the movable mirrors 82A and 82B and the measurement beams 91X1 to 91X5 are expressed by the movable mirror 82 and the measurement beam 91X in FIG. 5.

[0084]

Next the interferometer system that manages the positions of the wafer stages WST1 and WST2 will be described with reference to FIGS. 5 to 7. As shown in FIGS. 5 to 7, a measurement beam 92X2 consisting of triaxial laser beams from the interferometer 87X2 is directed at the reflective surface 84X on the side surface in the -X direction of the wafer stage WST1 along an axis parallel to the X axis, passing

through the center (optical axis AX1) of the projected image of the projection optical system PL1 and the detection centers of the alignment systems 88A and 88B. Similarly, a measurement beam 92X5 consisting of triaxial laser beams from the interferometer 87X5 is directed at the reflective surface 85X on the side surface in the +X direction of the wafer stage WST2. The reflected light here is received by the interferometers 87X2 and 87X5, whereby the relative displacement of the reflective surfaces in the X direction from the reference position is measured.

[0085]

In this case, as shown in FIG. 6, the measurement beams 92X2 and 92X5 are triaxial laser beams capable of measuring displacement independently of one another. Therefore, the corresponding interferometers 87X2 and 87X5 not only measure the positions of the wafer stages WST1 and WST2 in the X direction, they also can measure the tilt angle (the angle of rotation around the Y axis) and the angle of yaw (the angle of rotation around the Z axis) of the stages. In this case, the wafer stages WST1 and WST2 in this example are provided with Z leveling stages LS1 and LS2 for respectively performing the fine drive of the wafers W1 and W2 in the Z direction, the drive of the tilt angle, and the rotational drive around the Z axis, as shown in FIG. 6, but the Z leveling stages LS1 and LS2 are actually lower than the reflective surfaces 84X and 85X. Therefore, the drive amounts in the tilt angle control and yaw angle control of the wafers W1 and W2 can all be monitored by these interferometers 87X2 and 87X5.

[0086]

The X axis measurement beams 92X2 and 92X5 are directed at the reflective surfaces 84X and 85X of the wafer stages WST1 and WST2 at all times in the whole region of the movable range of the wafer stages WST1 and WST2. Therefore, in the X direction, whether during the exposure using the projection optical system PL1 or during the use of the alignment systems 88A and 88B, the positions of the wafer stages WST1 and WST2 in the X direction are managed on the basis of the measurement values obtained with the measurement beams 92X2 and 92X5.

[0087]

As shown in FIGS. 6 and 7, the +Y direction side surfaces of the wafer stages WST1 and WST2 are finished to produce the reflective surfaces 84Y and 85Y as movable mirrors, and a measurement beam 92Y3 parallel to the Y axis and passing through the optical axis AX1 of the projection optical system PL1 is emitted from the interferometer 87Y3 and directed at these reflective surfaces 84Y and 85Y. Moreover, interferometers 87Y1 and 87Y5 having measurement beams 92Y1 and 92Y5, respectively, are provided parallel to the Y axis and passing through the detection centers of the alignment systems 88A and 88B, respectively. In this example, the measurement value measured by the interferometer 87Y3 having the

measurement beam 92Y3 is used to measure the positions in the Y direction of the wafer stages WST1 and WST2 during the exposure using the projection optical system PL1, and the measurement value measured by the interferometer 87Y1 or 87Y5 is used to measure the position in the Y direction of the wafer stage WST1 or WST2 during the use of the alignment systems 88A and 88B.

[0088]

Therefore, depending on the usage conditions, the measurement beams of the Y axis interferometers 87Y1, 87Y3, and 87Y5 may diverge from the reflective surfaces 84Y and 85Y of the wafer stages WST1 and WST2. Therefore, in this example, the interferometer 87Y2 having the measurement beam 92Y2 parallel to the Y axis is provided between the interferometers 87X1 and 87Y3, and the interferometer 87Y4 having the measurement beam 92Y4 parallel to the Y axis is provided between the interferometers 87Y3 and 87Y5, whereby the reflective surfaces 84Y and 85Y of the wafer stages WST1 and WST2 are irradiated at all times by a measurement beam from at least one of the interferometers. Accordingly, if we let DX1 be the width in the X direction of the reflective surfaces 84Y and 85Y serving as movable mirrors, then the spacing DX2 between the measurement beams 92Y1, 92Y2, ..., and 92Y5 in the X direction is set narrower than DX1. As a result, two adjacent measurement beams out of the measurement beams 92Y1 to 92Y5 will always be directed at the reflective surfaces 84Y and 85Y at the same time (that is, there is a partially overlapping measurement range), so the transfer of measurement values from the first interferometer to the second interferometer will always happen in this state, as will be discussed below. This means that the wafer stages WST1 and WST2 are positioned with high precision and with good reproducibility in the Y direction as well.

[0089]

The measurement beams 92Y1, 92Y3, and 92Y5 used to measure positions in the Y direction consist of biaxial laser beams spaced apart in the Z direction and capable of independent position measurement. Therefore, the corresponding interferometers 87Y1, 87Y3, and 87Y5 not only measure the positions of the reflective surfaces 84Y and 85Y in the Y direction, they also can measure the inclination angle (tilt angle) around the X axis. In this example, the interferometer system for managing the two-dimensional coordinate positions of the wafer stages WST1 and WST2 is made up of a total of seven interferometers, namely, the interferometers 87X2, 87X5, and 87Y1 to 87Y5. In this example, as will be discussed below, while one of the wafer stages WST1 and WST2 is executing the exposure sequence, the other executes wafer exchange and the alignment sequence, and the stage controller 38 performs position and speed control of the wafer stages WST1 and

WST2 on the basis of the measurement values obtained with the various interferometers so that they will not physically interfere with each other.

[0090]

Next, the illumination system and control system in this example will be described with reference to FIG. 5. In FIG. 5, the exposure light, which is composed of pulsed laser light emitted from a light source component 40 comprising a KrF, ArF, F₂, or other such excimer laser light source and a light reduction system (such as a light reducing plate), is passed through a shutter 42, after which it is polarized by a mirror 44, shaped to a suitable beam diameter by beam expanders 46 and 48, and incident on a first fly-eye lens 50. The exposure light emitted from this first fly-eye lens 50 goes through a lens 52, an oscillation mirror 54, and a lens 56, and is incident on a second fly-eye lens 58. The exposure light emitted from the second fly-eye lens 58 goes through a lens 60 and reaches a stationary blind 62 disposed at a position that is conjugate with the reticle R1 (or R2), where the cross sectional shape thereof is set to the specified shape, after which it is passed through a movable blind 64 disposed at a position slightly defocused from the conjugate plane with the reticle, and then passes through relay lenses 66 and 68 to produce light with a uniform brightness distribution. This light illuminates an illumination region IA in a specific shape on the reticle R1, which is a rectangular slit-shape here (see FIG. 6).

[0091]

Next, the control system in this example is constituted primarily of the main controller 90 for the general control of the apparatus as a whole, and of an exposure light quantity controller 70, the stage controller 38, and so forth under the management of this main controller 90. For example, when the wafer W1 is exposed in the pattern of the reticle R1, the exposure light quantity controller 70 opens the shutter 42 by sending a command to a shutter driver 72 to drive a shutter drive component 74 prior to the start of synchronous scanning of the reticle R1 and wafer W1.

[0092]

After this, the stage controller 38 starts the synchronous scanning of the reticle R1 and wafer W1, that is, the reticle stage RST1 and the wafer stage WST1, according to instructions from the main controller 90. This synchronous scanning is performed by monitoring the measurement values of the measurement beams 91Y1, 91Y2, and 91X3 obtained with the interferometer system used for the reticle stage and the measurement values of the measurement beams 92Y3 and 92X2 obtained with the interferometer system used for the wafer stage as discussed above, while controlling the stage drive system 81W and the reticle stage drive mechanism 81R with the stage controller 38.

[0093]

The exposure light quantity controller 70 commences pulsed light generation by sending a command to a laser controller 76 at the point when the stages RST1 and WST1 are driven at the same speed, using the projection magnification ratio as the speed ratio, within a specific synchronization error range. As a result, the rectangular illumination region IA (see FIG. 6) of the reticle R1 is illuminated by the exposure light, the image of the pattern in this illumination region IA is reduced by the projection optical system PL1 to 1/5 its original size, and this is projected to expose a wafer W1 whose surface has been coated with a photoresist. Here, as is clear from FIG. 6, the width of the illumination region IA in the scanning direction is narrower than the pattern region on the reticle R1, and when the reticle R1 and the wafer W1 are synchronously scanned, the images from the entire pattern region are successively transferred to the shot region on the wafer. In this exposure, the exposure light quantity controller 70 reduces brightness unevenness caused by fringes generated by the two first fly-eye lenses 50 and 58 by sending a command to a mirror driver 78 to drive the oscillation mirror 54.

[0094]

The movable blind 64 is driven by a blind controller 39 synchronously with the reticle R1 and the wafer W1, and this series of synchronous operations is managed by the stage controller 38 so that the exposure light that has passed through the outer part of the pattern region on the reticle R1 (the outer part of the shielding band) will not leak close to the edges of the various shot regions on the wafer W1 during the scanning exposure. Furthermore, when the main controller 90 corrects the approach start position for the reticle stage and wafer stage at which synchronous scanning is performed during the scanning exposure, for instance, it sends a correction command for the stage position to the stage controller 38 that controls the movement of the stages.

[0095]

Next, a plurality of interferometers with partially overlapping measurement ranges are disposed at the reticle stages RST1 and RST2 and the wafer stages WST1 and WST2 in this example as mentioned above, and the measurement values measured by the interferometer are successively transferred to the adjacent interferometer thereto. The following is an example of the wafer stage WST2 and the two Y axis interferometers 87Y3 and 87Y4 in FIG. 7, and the operation of transferring the interferometer measurement values, that is, the operation of presetting the interferometer measurement values, is described with reference to FIGS. 7 to 10.

[0096]

First, when the wafer stage WST2 moves in the -X direction from its position in FIG. 7, the measurement beam 92Y4 ceases to be incident on the reflective surface 85Y serving as the movable mirror of the wafer stage WST2 at some point during this

movement. Conversely, when the wafer stage WST2 moves in the +X direction, the measurement beam 92Y3 ceases to be incident on the reflective surface 85Y at some point during this movement. In view of this, the transfer of measurement values must be performed with high precision between the interferometer 87Y4 and the interferometer 87Y3, and the measurement of the Y coordinate of the wafer stage WST2 must be performed with good reproducibility using one of these interferometers 87Y4 and 87Y3. Consequently, the following approach is employed in this example.

[0097]

FIG. 8(a) is a plan view of the wafer stage WST2 in FIG. 7. In FIG. 8(a), the displacement of the wafer stage WST2 in the X direction is measured by the X-axis interferometer 87X5, while the displacement of the wafer stage WST2 in the Y direction is measured by the two interferometers 87Y3 and 87Y4. The spacing DX2 in the X direction of the measurement beams 92Y3 and 92Y4 of the interferometers 87Y3 and 87Y4 is narrower than the width DX1 in the X direction of the reflective surface 85Y of the wafer stage WST2.

[0098]

Here, the interferometers 87Y4 and 87Y3 in this example are heterodyne interference type laser interferometers, and a common two-frequency oscillating laser (such as a Zeeman effect type of He-Ne laser light source with a wavelength of 633 nm) is used as the light source for the measurement beams. This two-frequency oscillating laser emits first and second light fluxes having a specific frequency differential of Δf (such as about 2 MHz) and whose polarization directions are mutually perpendicular as a coaxial heterodyne beam. First, this heterodyne beam is divided up into parts of about 1/10 and mixed by an analyzer, and the resulting interference light is subjected to photoelectric conversion, which produces a reference signal SR of the frequency Δf . This reference signal SR is supplied to a phase comparator 26 (see FIG. 9) in each of the interferometers 87Y4 and 87Y3.

[0099]

The first and second heterodyne beams obtained by splitting the above-mentioned heterodyne beam into parts of about 1/10 are supplied to the interferometers 87Y3 and 87Y4. The interferometer 87Y4 uses one of the two light fluxes, namely, the one whose polarization direction is perpendicular to the second heterodyne beam, as the measurement beam 92Y4, and uses the other one as a reference beam (not shown). The reference beam is reflected by a reference mirror which is not shown. The reflected reference beam and the measurement beam 92Y4 reflected by the reflective surface 85Y are mixed by an analyzer, and the resulting interference light is subjected to photoelectric conversion, which produces a measurement signal S2 that has a frequency of Δf and whose phase varies. This

signal is supplied to the phase comparator 26 in FIG. 9. In the phase comparator 26, the phase difference ϕ_2 between the above-mentioned reference signal SR and the measurement signal S2 is found at a specific resolution (such as $2\pi/100$ (rad)) and supplied to an integrator 27.

[0100]

Here, if we let λ be the wavelength of the measurement beams 92Y3 and 92Y4 and m be an integer of 1 or more, the phase difference ϕ_2 changes by 2π (rad) when the reflective surface 85Y moves in the Y direction by λ/m ($m=2$ with a single pass method as in this example, but $m=4$ with a double pass method). The range of the phase difference ϕ_2 is $0 \leq \phi_2 < 2\pi$. The integrator 27 in FIG. 9 adds 1 to a specific integer N2 (corresponding to the degree of interference) when the phase difference ϕ_2 crosses 2π in the positive direction, and subtracts 1 from this integer N2 when the phase difference ϕ_2 crosses 0 in the negative direction. During the measurement, the integrator 27 multiplies λ/m by $\{N1 + \phi_2/(2\pi)\}$, and sends the resulting measurement value P2 to the stage controller 38 as the absolute position of the wafer stage WST2 in the Y direction.

[0101]

Similarly, with the interferometer 87Y3, the phase difference ϕ_1 is found between the measurement signal S1 obtained from the measurement beam 92Y3 and the above-mentioned reference signal SR, and an integer N1 that increases or decreases every time this phase difference ϕ_1 crosses 2π or 0 and a measurement value P1 calculated from λ/m are sent to the stage controller 38. Specifically, the interferometers 87Y3 and 87Y4 measure the position of the wafer stage WST2 in the Y direction as an absolute position within the width of λ/m .

[0102]

The interferometer 87X5 of the X axis in this example comprises two laser beams separated in the Y direction as shown in FIG. 6, so the angle of rotation $\theta W2$ of the wafer stage WST2 can be measured from the difference in the measurement values for the X coordinate of the reflective surface 85X produced by these two laser beams. In view of this, the integers N2 and N1 in the interferometers 87Y4 and 87Y3 are first reset to zero in the "initial state" in which the wafer stage WST2 has been stopped so that the angle of rotation $\theta W2$ will be zero in the state shown in FIG. 8(a), $\{1/(2\pi)\} (\lambda/m)$ is multiplied by the phase differences ϕ_2 and ϕ_1 measured above, and the resulting measurement values (initial values) P20 and P10 are incorporated into the stage controller 38.

[0103]

The offset of the measurement values measured by the interferometers 87Y4 and 87Y3 is set at -P20 and -P10, respectively, by the stage controller 38, after which these offsets (-P20 and -P10) are added to the measurement values P2 and P1 supplied

from the interferometers 87Y4 and 87Y3. These sums are termed the actual measurement values $P2'$ and $P1'$ of the interferometers 87Y4 and 87Y3. Specifically, these measurement values $P2'$ and $P1'$ accurately express the amount of displacement of the wafer stage WST2 in the Y direction from the above-mentioned initial state. The initial values of these measurement values ($P20$ and $P10$) are stored.

[0104]

In FIG. 8(a), the wafer stage WST2 then moves further in the -X direction until it reaches the position shown in FIG. 8(b). In FIG. 8(b), the measurement beam 92Y4 of the interferometer 87Y4 has diverged from the reflective surface 85Y serving as the movable mirror. In this state, the Y coordinate of the wafer stage WST2 is measured by the interferometer 87Y3. The wafer stage WST2 begins moving back from this state toward the position shown in FIG. 8(a) in +X direction, and when the reflective surface 85Y enters the illumination range (measurement range) of the measurement beam 92Y4 of the interferometer 87Y4, the measurement value measured by the interferometer 87Y4 is set (preset) as follows.

[0105]

First, the angle of rotation $\theta W2$ (a very small amount (rad) substantially close to zero) of the wafer stage WST2 is measured by the measurement beam 92X5 (two laser beams) of the X axis interferometer 87X5. In this state, the measurement value $P1$ of the Y coordinate is found for the interferometer 87Y3 that uses the measurement beam 92Y3 in FIG. 8(a). However, this measurement value $P1$ is the direct measurement value prior to offset correction. Then, the stage controller 38, for example, finds an estimate of the fraction $\epsilon2/(2\pi)$ and the degree of interference $N2$ ($N2$ is an integer) for the interferometer 87Y4 from this measurement value $P1$. This fraction $\epsilon2$ corresponds to the above-mentioned $\phi2$.

[0106]

Specifically, the operator in the stage controller 38 calculates an estimate $P2'$ of the measurement value $P2$ of the interferometer 87Y4 before offset correction as follows from the spacing $DX2$ of the measurement beams 92Y3 and 92Y4, the measured angle of rotation $\theta W2$ of the wafer stage WST2, and the difference in the initial values of the measurement value $P1$ of the interferometer 87Y3 and the measurement values measured by the interferometers 87Y4 and 87Y3 ($=P20-P1$).

$$P2' = P1 + DX2 \cdot \theta W2 + (P20 - P10)$$

[0107]

For example, when the measurement precision of the angle of rotation $\theta W2$ is high, this estimated value $P2'$ may be preset directly as the current measurement value $P2$ of the interferometer 87Y4. However, the measurement value $\theta W2$ includes a certain amount of measurement error, so the fact that the interferometer 87Y4 can measure the absolute position in units of width λ/m is utilized, and the operator breaks

down the indicated value $P2'$ into the integer component and the fraction component. Therefore, the remainder of $N2$ times the length λ/m in the estimated value $P2'$ of the measurement value measured by the interferometer 87Y4 becomes the fraction $\varepsilon2/(2\pi)$. Specifically, the stage controller 38 calculates (estimates) the integer $N2$ and the fraction $\varepsilon2$ as follows.

[0108]

$$N2 = g\{P2' / (\lambda/m)\} \quad (1)$$

$$\varepsilon2 = \{P2' / (\lambda/m) - N2\} (2\pi) \quad (2)$$

Here, $g\{X\}$ is a function that gives the maximum integer which does not exceed X . As will be discussed in detail below, the stage controller 38 determines the preset value of the integer (degree) $N2$ of the interferometer 87Y4 from the estimated degree of interference and fraction ($N2$ and $\varepsilon2$) obtained from the measurement value $P1$, and the phase difference (absolute phase) $\phi2$ actually measured with the interferometer 87Y4.

[0109]

FIG. 9 shows part of the stage controller 38 and part of the interferometer 87Y4 in this example. As shown in FIG. 9, the interferometer 87Y4 has a phase comparator 26 into which are input, for example, the reference signal SR and measurement signal $S2$ (photoelectrically converted signal for the interference light between the measurement beam and the reference beam) output from the laser light source. The phase comparator 26 detects the phase difference $\phi2$ between the reference signal SR and the measurement signal $S2$, and the detected phase difference $\phi2$ is output to the integrator 27, and is also output to a calculation processor 28 in the stage controller 38. The other interferometers are also equipped with their own phase comparator 26 and integrator 27.

[0110]

During the measurement, the integrator 27 integrates the integer $N2$ from the change in the phase difference $\phi2$ as above, multiplies λ/m by $\{N2 + \phi2/(2\pi)\}$, and outputs the measurement value $P2$ thus obtained to the stage controller 38 as information indicating the amount of movement of a movable mirror (the reflective surface 85Y in this example). However, when the transfer of measurement values is carried out as it is here, the calculation processor 28 compares the phase difference $\phi2$ input from the phase comparator 26 with the estimated fraction value $\varepsilon2$ input from the above-mentioned operator. If the estimated value $\varepsilon2$ of the estimated phase difference is close to 2π or 0 (zero), it is possible that the integer $N2$ indicating the estimated degree of interference will be outside the range of ± 1 , so this comparison is performed to verify this. The operation of this comparison will be described with reference to FIG. 10. For the sake of convenience, the estimated value of $N2$ is given as the degree N in FIG. 10.

[0111]

In FIGS. 10(a) to (c), the horizontal axis is the phase difference between the reference signal and the measurement signal, and in particular illustrates the phase difference for ranges of degree of interference of $k=N-1$, $k=N$, and $k=N+1$. The phase difference changes by 2π within one degree. FIG. 10(a) illustrates a case in which the absolute value of the difference between the actual phase difference ϕ_2 and the estimated phase difference ε_2 is less than π ($|\phi_2 - \varepsilon_2| < \pi$). In this case, as seen in the figure, the actual phase difference ϕ_2 is within the degree N , so the degree of interference is N as estimated, and the preset value N' of the degree is equal to N . FIG. 10(b) illustrates a case in which the value obtained by subtracting the estimated phase difference ε_2 from the actual phase difference ϕ_2 is greater than π ($\phi_2 - \varepsilon_2 > \pi$). In this case, as seen in the figure, the actual phase difference ϕ_2 is within the degree $N-1$, so the preset value N' is equal to $N-1$. FIG. 10(c) illustrates a case in which the value obtained by subtracting the estimated phase difference ε_2 from the actual phase difference ϕ_2 is less than $-\pi$ ($\phi_2 - \varepsilon_2 < -\pi$). In this case, as seen in the figure, the actual phase difference ϕ_2 is within the degree $N+1$, so the preset value N' is equal to $N+1$.

[0112]

The calculation processor 28 outputs the preset value N' determined as above as the preset value RE to the integrator 27 in FIG. 9. The integrator 27 sets the preset value RE (that is, N') as the preset value of the integer N_2 , calculates the Y coordinate measurement value P_2 as follows from the phase difference ϕ_2 from the phase comparator 26 and the integer N' , supplies this value P_2 to the stage controller 38, and thereafter performs the ordinary measurement operation.

$$P_2 = (\lambda/m) \cdot N' + (\lambda/m) (\phi_2/2\pi) \quad (3)$$

As a result, the measurement value P_2 of the interferometer 87Y4 ends up returning substantially to the original value, and the measurement value measured by the interferometer 87Y3 is accurately transferred to the interferometer 87Y4.

[0113]

Thus, in this example, in setting the preset value for a first interferometer set up such that reflected light from a mirror surface is obtained again, a measurement value calculated from the measurement value obtained with a second interferometer is utilized as an estimate for determining the degree of interference (N_1 or N_2) of the first interferometer, and the preset value of the degree of interference (N_1 or N_2) of this first interferometer, and in turn the preset value of the interferometer measurement value, are determined on the basis of the estimated degree of interference and the phase difference (absolute phase) ϕ measured with this first interferometer. Here, the degree of interference N_2 or N_1 is unknown since the measurement beam temporarily diverges from the mirror surface, but because the degree of interference can be found by calculation from the measurement value

obtained with another interferometer, the preset value for the interferometer can be set at the precision inherent in that interferometer.

[0114]

If measurement error should creep into all of the measurement values at the start-up of the device or for one reason or another, making it necessary to reset the measurement values for all of the interferometers, then in FIG. 9 a degree of $N2=0$ must be sent to the calculation processor 28, and the output (preset value) $RE(=0)$ of the calculation processor 28 must be set in the integrator 27. In this case, just the value corresponding to the phase difference (absolute phase) $\phi2$ ends up being set in the integrator 27 (the interferometer 87Y4). Similarly, the initial value of the interferometer 87Y3 corresponds to the phase difference $\phi1$.

[0115]

The output P2 of the integrator 27 may also be fed back to the calculation processor 18 as necessary. If it is, then after the integrator 27 is reset, for instance, even the amount of displacement of the wafer stage up to the point when the reset value is set from the calculation processor 28 to the integrator 27 can be set in the integrator 27 as a reset value. Here, since the reflected light from the wafer stage can be received, the initial setting can be more precise, taking into account the amount of displacement of the wafer stage up to the point when the reset value RE2 is set in the integrator 27.

[0116]

In addition, in this example, one of the measurement beams of the interferometers 87Y3 to 87Y5 must be directed at the side surface 85Y of the wafer stage WST2 during the movement of the wafer stage WST2. Accordingly, in this example, the interferometers are laid out such that the spacing between the measurement beams (such as the spacing DX2 of the measurement beams 92Y3 and 92Y4 shown in FIG. 8) will be shorter than the width DX1 of the wafer stage WST2 in the X direction.

[0117]

The setting of the initial values (preset values) of the interferometers is performed in the same manner for the interferometers 83X1 to 83X5 that are used to measure the positions of the reticle stages RST1 and RST2 in FIG. 6, and the transfer of measurement values is carried out on the basis of this setting. Next, with the projection exposure apparatus of this example, first and second conveyance systems for exchanging the wafers are provided between the wafer stages WST1 and WST2.

[0118]

The first conveyance system, as shown in FIG. 11, performs wafer exchange as discussed below for the wafer stage WST1 at a wafer loading position on the left side. This first conveyance system comprises a first center-up 99 consisting of three

vertically moving members provided on the wafer stage WST1, and a first wafer loader including a first loading guide 96A extending in the Y axis direction, first and second sliders 97A and 97C that move along this first loading guide 96A, an unloading arm 98A attached to the first slider 97A, a loading arm 98C attached to the second slider 97C, and so forth.

[0119]

The operation of exchanging wafers with this first conveyance system will be briefly described. As shown in FIG. 11, the description here is for a case in which a wafer W1' on the wafer stage WST1 at the wafer unloading position on the left side is exchanged with a wafer W1 that has been conveyed by the first wafer loader. First, the main controller 90 turns off the vacuum chucking of the wafer holder (not shown) on the wafer stage WST1 to release the wafer W1'. Then, the main controller 90 raises the first center-up 99 a specific amount via a center-up drive system (not shown). This lifts the wafer W1' up to the required height. In this state, the main controller 90 moves the unloading arm 98A directly under the wafer W1' by means of the wafer loading controller (not shown). In this state, the main controller 90 lowers the first center-up 99 to a specific position and transfers the wafer W1' to the unloading arm 98A, after which the vacuum chucking of the unloading arm 98A is commenced. Next, the main controller 90 sends the wafer loading controller a command to start retracting the unloading arm 98A and moving the loading arm 98C. This starts the unloading arm 98A moving in the -Y direction in FIG. 11, and when the loading arm 98C holding the wafer W1 is over the wafer stage WST1, the vacuum chucking of the loading arm 98C by the wafer loading controller is released, and the first center-up 99 is then raised so that the wafer W1 is transferred onto the wafer stage WST1.

[0120]

As shown in FIG. 12, the second conveyance system, which transfers wafers to and from the wafer stage WST2, is symmetrical to the first conveyance system, and comprises a second loading guide 96B, third and fourth sliders 97B and 97D that move along this loading guide 96B, an unloading arm 98B attached to the third slider 97B, a loading arm 98D attached to the fourth slider 97D, and so forth. The wafer W2' to be exposed next is held by the loading arm 98D.

[0121]

Parallel processing using the two wafer stages WST1 and WST2 of the projection exposure apparatus of this example will now be described with reference to FIGS. 11 and 12. FIG. 11 is a plan view of the state in which wafer exchange is performed between the wafer stage WST1 and the first conveyance system as described above while the wafer W2 on the wafer stage WST2 is being exposed by the projection optical system PL1. In this case, an alignment operation is performed

on the wafer stage WST1 as discussed below immediately after the wafer exchange. In FIG. 11, the position of the wafer stage WST2 during the exposure operation is controlled on the basis of the measurement values of the measurement beams 92X5 and 92Y3 obtained with the interferometer system, and the position of the wafer stage WST1 where the wafer exchange and alignment operations are being carried out is controlled on the basis of the measurement values of the measurement beams 92X2 and 92Y1 obtained with the interferometer system. Accordingly, the main controller 90 in FIG. 5 sends a command to the stage controller 38 to execute the initial setting (presetting) of the above-mentioned measurement values measured by the interferometers prior to the wafer exchange and alignment operations.

[0122]

Wafer exchange and the setting of the initial values of the interferometers are followed by search alignment. Search alignment performed after wafer exchange consists of prealignment that is performed again on the wafer stage WST1 because the positional error is still large with just the prealignment performed during the conveyance of the wafer W1. In more specific terms, the positions of three search alignment marks (not shown) formed on the wafer W1 placed on the wafer stage WST1 are measured using the LSA sensors or the like of the alignment system 88A in FIG. 5, and the wafer W1 is positioned in the X, Y, and θ directions on the basis of these measurement results. The operation of the various components in this search alignment is controlled by the main controller 90.

[0123]

Upon completion of this search alignment, fine alignment is performed, in which the layout of the various shot regions on the wafer W1 is determined, by EGA (Enhanced Global Alignment) in this case. More specifically, while managing the position of the wafer stage WST1, the interferometer system (measurement beams 92X2 and 92Y1) uses the FIA sensors or the like of the alignment system 88A in FIG. 5 to measure the alignment mark positions of a specific shot region (sample shot) on the wafer W1 while also successively moving the wafer stage WST1 on the basis of the designed shot layout data (alignment mark position data), and all of the shot layout data are calculated by statistical computation by the least squares method on the basis of this measurement result and the designed coordinate data for shot layout. The operation of the various components in this EGA fine alignment is controlled by the main controller 90 in FIG. 5 and the above-mentioned computation is performed by the main controller 90.

[0124]

While the wafer exchange and alignment operations are being performed on the wafer stage WST1 side, double exposure is performed on the wafer stage WST2 side by continuous step-and-scan method using two reticles R1 and R2 and while

varying the exposure conditions. In specific terms, fine alignment is carried out by EGA ahead of time just as on the wafer W1 side as discussed above, and the shot regions on the wafer W2 are successively moved under the optical axis of the projection optical system PL1 on the basis of the shot layout data for the wafer W2 thus obtained, after which scanning exposure is performed by the synchronous scanning of the reticle stage RST1 (or RST2) and the wafer stage WST2 in FIG. 6 in the scanning direction every time a shot region is exposed. This exposure of all the shot regions on the wafer W2 is carried out continuously, even after reticle exchange. The specific exposure procedure in double exposure is as follows. The various shot regions on the wafer W2 are successively subjected to scanning exposure using the reticle R2, after which the reticle stages RST1 and RST2 are moved a specific amount in the +Y direction to set the reticle R1 at the approach starting position, after which scanning exposure is performed. Here, the exposure conditions (the illumination conditions such as zonal illumination or deformation illumination, the amount of exposure light, etc.) are different for the reticle R2 and the reticle R1, so the conditions must be altered ahead of time according to the exposure data and so forth. The operation of the various components during this double exposure of the wafer W2 is also controlled by the main controller 90.

[0125]

When the above-mentioned exposure sequence and the wafer exchange and alignment sequence are performed in parallel on the two wafer stages WST1 and WST2 shown in FIG. 11, the wafer stages, which are finished first, enter a stand-by state, and at the point when both operations are complete, the wafer stages WST1 and WST2 are moved to the position shown in FIG. 12. Wafer W2, which has undergone the exposure sequence on the wafer stage WST2, is exchanged for another wafer at the loading position on the right side, and the wafer W1, which has undergone the alignment sequence on the wafer stage WST1, is subjected to the exposure sequence under the projection optical system PL1. The above-mentioned wafer exchange operation and alignment sequence are carried out at the loading position on the right side in FIG. 12 in the same manner as at the loading position on the left side.

[0126]

Thus, in this example, while the two wafer stages WST1 and WST2 are independently moved two-dimensionally, the wafers W1 and W2 on these wafer stages are subjected to the exposure sequence and the wafer exchange and alignment sequence in parallel, and this increases throughput. However, when two wafer stages are used to perform two operations in parallel, the operations conducted on one of the wafer stages can sometimes become a source of disturbance and affect the operations conducted on the other wafer stage. On the other hand, there are also operations conducted on one of the wafer stages that do not affect the operations conducted on

the other wafer stage. In view of this, in this example, the operations that are performed in parallel are divided into operations that become a source of disturbance and operations that do not, and the various operations are timed so that operations that become a source of disturbance, or operations that do not become a source of disturbance, are performed at the same time.

[0127]

For instance, during the scanning exposure, in addition to ensuring that the synchronous scanning of the wafer W1 and the reticles R1 and R2 at the same speed does not become a source of disturbance, every effort must also be made to eliminate other sources of disturbance. Accordingly, the scanning exposure over one of the wafer stages WST1 is timed so that the alignment sequence performed on the wafer W2 of the other wafer stage WST2 will be in a stationary state during this period. Specifically, measurement in the alignment sequence is performed with the wafer stage WST2 stationary, so it is not a source of disturbance for the scanning exposure, allowing mark measurement to be performed in parallel during the scanning exposure. Meanwhile, the alignment sequence involves uniform motion during the scanning exposure, so there is no disturbance and high-precision measurement is possible.

[0128]

The same is possible during the wafer exchange. In particular, vibration and the like produced when a wafer is transferred from a loading arm to a center-up can become a source of disturbance, so the transfer of wafers may be matched to the acceleration and deceleration (which are sources of disturbance) before scanning exposure or before and after synchronous scanning. This timing is adjusted by the main controller 90.

[0129]

Furthermore, in this example higher resolution and greater DOF (depth of focus) are obtained because double exposure is performed using a plurality of reticles. This double exposure method, however, requires that the exposure step be repeated at least two times, so when a single wafer stage is used, there is a marked drop in throughput because exposure takes longer. Using a projection exposure apparatus equipped with two wafer stages as in this example, however, greatly improves throughput, and higher resolution and greater DOF are also achieved.

[0130]

The scope of the present invention is not limited to this, and the present invention can also be applied favorably when exposure is effected by a single exposure method. Using two wafer stages allows the throughput to be nearly doubled over that when single exposure is performed using just one wafer stage. In this second embodiment, a measurement stage for measuring the state of the exposure light or the imaging characteristics may be further provided as in the first

embodiment. In this example, the wafer stages are driven by a combination of one-dimensional motors, but they may also be driven two-dimensionally by a planar motor as in the first embodiment.

[0131]

The projection exposure apparatus of this embodiment can be manufactured by assembling the reticle stages RST (RST1 and RST2) and the wafer stages WST (WST1 and WST2), which consist of numerous mechanical parts, optically adjusting the projection optical system PL (PL1), which is made up of a plurality of lenses, and then making overall adjustments (electrical adjustments, operation checks, etc.). The projection exposure apparatus is preferably manufactured in a clean room where temperature, cleanliness, and so forth are managed.

[0132]

In the above embodiments the present invention was applied to a step-and-scan type of projection exposure apparatus, but the present invention is not limited to this, and can be similarly applied to a step-and-repeat type of projection exposure apparatus, a proximity type of exposure apparatus, an exposure apparatus in which EUV light such as X rays is used as the exposure beam, or a charged particle beam exposure apparatus in which an electron beam (energy beam) is used as the light source (energy beam). Nor is the invention limited to an exposure apparatus, and an inspection apparatus, repair apparatus, or the like that uses stages to position wafers or the like may be used instead.

[0133]

Finally, the present invention is not limited to the above embodiments, and can of course have a variety of structures without exceeding the essence of the present invention.

[0134]

Effects of the Invention

In accordance with the first stage device of the present invention, a movable stage is provided for each individual function or for each of a specific plurality of function groups, which allows each movable stage to be more compact and to be driven faster and more precisely. In addition, a plurality of movable stages can each be moved over a range larger than the measurement range of a first measurement system, and when each movable stage enters the measurement range of this first measurement system, the position of that movable stage can be measured by the first measurement system with high precision and with good reproducibility.

[0135]

In accordance with the second stage device of the present invention, the positions of a plurality of movable stages can be measured over a wide measurement range, with high precision, and with good reproducibility. Throughput is also

increased because the positions of the movable stages can be measured with high precision by the first measurement system merely by matching the result of the measurement by the first measurement system to the result of the measurement by the second measurement system.

[0136]

The first exposure apparatus of the present invention is equipped with the stage device of the present invention, so when the position of the movable stage thereof is measured by an interferometer, for example, the movable mirror can be made smaller than the range of movement of this movable stage, and the weight of this movable stage can be reduced. It is therefore easier to move this movable stage at high speed, exposure can be performed at a high throughput using a double exposure method or the like, and better resolution and depth of focus can be achieved.

[0137]

In accordance with the second exposure apparatus of the present invention, only the minimum functions required for exposure are given to a first movable stage that is used for the original purpose of exposure, and this allows the size of this first movable stage to be kept to the required minimum, so the stage can be more compact and lightweight, and throughput is increased. Meanwhile, characteristic measurement apparatus for measuring the characteristics during the transfer of the mask pattern, which are not directly required for exposure, are mounted on a second movable stage, allowing characteristics to be measured during the transfer of the mask pattern. In addition, because this exposure apparatus is equipped with the stage device of the present invention, the positions of its plurality of movable stages can be measured with high precision.

[0138]

In accordance with the third exposure apparatus of the present invention, one of a plurality of movable stages can be used to perform an exposure operation while another movable stage handles the conveyance and alignment of the substrates, which increases throughput. In accordance with the fourth exposure apparatus of the present invention, only the minimum functions required for exposure are given to a first movable stage that is used for the original purpose of exposure, and this allows this first movable stage to be more compact and lightweight, and throughput is increased. Meanwhile, characteristic measurement apparatus for measuring the imaging characteristics of the projection optical system, which are not directly required for exposure, are mounted on a second movable stage, allowing imaging characteristics to be measured.

[0139]

In accordance with the first positioning method of the present invention, the positions of a plurality of movable stages are measured and the stages positioned

quickly and with high precision. Similarly, in accordance with the second positioning method of the present invention, the positions of a plurality of movable stages are measured and the stages positioned quickly and with high precision.

Brief Description of the Drawings

FIG. 1

FIG. 1 is a simplified structural diagram of a projection exposure apparatus according to the first embodiment of the present invention.

FIG. 2

FIG. 2 is a plan view illustrating the wafer stage WST and measurement stage 14 in FIG. 1.

FIG. 3

FIG. 3 is a plan view illustrating the reticle stage RST and measurement stage 5 in FIG. 1.

FIG. 4

FIG. 4 is a plan view provided to describe the measurement of the state of exposure light or the like using the measurement stage 14 according to the first embodiment.

FIG. 5

FIG. 5 is a simplified structural diagram of a projection exposure apparatus according to the second embodiment of the present invention.

FIG. 6

FIG. 6 is an oblique view illustrating the positional relationship between the two wafer stages WST1 and WST2, the two reticle stages RST1 and RST2, the projection optical system PL1, and the alignment systems 88A and 88B in the embodiment of FIG. 5.

FIG. 7

FIG. 7 is a plan view illustrating the structure of the drive mechanism of the wafer stage in FIG. 5.

FIG. 8

FIG. 8 is a diagram illustrating the measurement value setting of an interferometer as performed in the second embodiment of the present invention.

FIG. 9

FIG. 9 is a diagram illustrating the simplified structure of part of the signal processing system used in the interferometer system according to the second embodiment of the present invention.

FIG. 10

FIG. 10 is a diagram illustrating an example of signal processing in the interferometer system according to the second embodiment of the present invention.

FIG. 11

FIG. 11 is a plan view illustrating a state in which the wafer exchange and alignment sequence and the exposure sequence are performed by the use of the two wafer stages WST1 and WST2.

FIG. 12

FIG. 12 is a diagram showing a state in which the wafer exchange and alignment sequence and exposure sequence in FIG. 11 are switched.

Description of Symbols

MA, MB, MC1, MC2, MD1, MD2: Reference Mark

R, R1, R2: Reticle

RA, RB: Reticle Alignment Microscope

RST, RST1, RST2: Reticle Stage

W, W1, W2: Wafer

WST, WST1, WST2: Wafer Stage

5: Measurement Stage

7X1, 7X2, 7Y, 8Y, 15X1, 15X2, 15Y: Laser Interferometer

10: Main Control System

11: Imaging Characteristic Computation System

13: Surface Table

14: Measurement Stage

16: Wafer Alignment Sensor

26: Phase Comparator

27: Integrator

28: Calculation Processor

38: Stage Controller

83X1~83X5, 83Y1~83Y4, 87X2, 87X5, 87Y1~87Y5: Interferometer

88A, 88B: Alignment System 90: Main Control System

FIG. 1

Scanning Direction

From RA, RB

10: Main Control System

11: Imaging Characteristic Computation System

FIG. 3

Scanning Direction

FIG. 5

From 70

From 38
From 38
To 38
From 87
To 81R, 81W
From 88A
From 38
90: Main Control System

FIG. 6

Scanning Direction

FIG. 9

26: Phase Comparator
27: Integrator
28 (38): Calculation Processor

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-164504

(P2000-164504A)

(43) 公開日 平成12年6月16日 (2000.6.16)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-コ-ト* (参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 0 3 A 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/23		G 0 3 F 7/23	H 5 F 0 4 6
9/00		9/00	A

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平10-339789

(22) 出願日 平成10年11月30日 (1998. 11. 30)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 谷口 哲夫

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 神谷 三郎

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100098165

弁理士 大森 聡

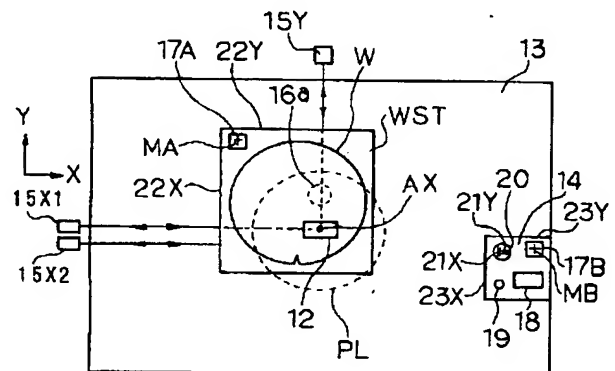
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ステージ装置、露光装置、及び前記ステージ装置を用いた位置決め方法

(57) 【要約】

【課題】 ステージの移動範囲を、そのステージの位置を計測する干渉計の計測範囲よりも大きくし、かつそのステージの位置を高精度に計測する。

【解決手段】 ウエハステージWSTが、側面の移動鏡22X、22Yにレーザ干渉計15X1、15X2、15Yからのレーザビームが照射されない位置から移動して、レーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測範囲内に入った際に、基準マークMAの位置をウエハアライメントセンサにより計測し、この計測結果に基づいてレーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測値の補正を行う。また、計測用ステージ14が、レーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測範囲内に入った際にも、同様に基準マークMBの位置をウエハアライメントセンサにより計測し、この計測結果に基づいてレーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測値の補正を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の移動面に沿って互いに独立に移動自在に配置された複数の可動ステージと、前記複数の可動ステージの内の一つの可動ステージの位置を所定の計測範囲内で計測する第 1 測定系と、を備えたステージ装置であって、前記複数の可動ステージのそれぞれに対して、該可動ステージの前記計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量、又は前記基準位置に対する合致度を計測する第 2 測定系、を備え、

前記第 2 測定系の計測結果に基づいて前記第 1 測定系の計測値の補正を行うことを特徴とするステージ装置。

【請求項 2】 所定の移動面に沿って互いに独立に移動自在に配置された複数の可動ステージと、前記複数の可動ステージの内の一つの可動ステージの位置を所定の第 1 の計測範囲内で計測する第 1 測定系と、を備えたステージ装置であって、前記複数の可動ステージのそれぞれに対して、前記第 1 の計測範囲と部分的に重複する第 2 の計測範囲内で位置を連続的に計測する第 2 測定系と、前記第 1 及び第 2 測定系の計測結果に基づいて該 2 つの測定系の計測結果を補正する制御系と、を設けたことを特徴とするステージ装置。

【請求項 3】 請求項 2 記載のステージ装置であって、前記第 1 測定系は干渉計であり、前記第 2 測定系は、順次部分的に重複する計測範囲を有する複数の干渉計であることを特徴とするステージ装置。

【請求項 4】 請求項 1、2、又は 3 記載のステージ装置を備えた露光装置であって、前記ステージ装置の前記複数の可動ステージに互いに異なるパターンが形成されたマスクを載置し、前記複数の可動ステージ上のマスクのパターンを交互に位置決めを行いながら基板上に転写することを特徴とする露光装置。

【請求項 5】 請求項 1、2、又は 3 記載のステージ装置を備えた露光装置であって、前記ステージ装置の前記複数の可動ステージの第 1 の可動ステージ上にマスクを載置し、第 2 の可動ステージ上に前記マスクのパターンを転写する際の特性を計測するための特性計測装置を載置し、前記マスクのパターンを基板上に転写することを特徴とする露光装置。

【請求項 6】 請求項 1、2、又は 3 記載のステージ装置を備えた露光装置であって、前記ステージ装置の前記複数の可動ステージ上にそれぞれ基板を載置し、前記複数の可動ステージを交互に露光位置に位置決めしながら、前記複数の基板上に交互に所定のマスクパターンを露光することを特徴とする露光装置。

【請求項 7】 請求項 1、2、又は 3 記載のステージ装置と、投影光学系と、を備えた露光装置であって、前記ステージ装置の前記複数の可動ステージの第 1 の可動ステージ上に基板を載置し、第 2 の可動ステージ上に前記投影光学系の結像特性を計測するための特性計測装置を載置し、前記第 1 の可動ステージ上の基板上に所定のマスクパターンを前記投影光学系を介して露光することを特徴とする露光装置。

10 【請求項 8】 請求項 1 記載のステージ装置を用いた位置決め方法であって、前記複数の可動ステージの内の一つの可動ステージが前記第 1 測定系の計測範囲内に入った際に、該可動ステージの前記計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量、又は前記基準位置に対する合致度を前記第 2 測定系により計測し、該計測結果に基づいて前記第 1 測定系の計測値の補正を行うことを特徴とするステージ装置を用いた位置決め方法。

20 【請求項 9】 請求項 2、又は 3 記載のステージ装置を用いた位置決め方法であって、前記複数の可動ステージの内の一つの可動ステージが前記第 2 の計測範囲側から前記第 1 の計測範囲内に入る際に、前記第 1 及び第 2 測定系によって同時に前記可動ステージの位置を計測し、該計測結果に基づいて前記第 1 測定系の計測結果を前記第 2 測定系の計測結果に合わせることを特徴とするステージ装置を用いた位置決め方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

30 【発明の属する技術分野】本発明は、例えば加工対象物等を位置決めするためのステージ装置、及びそのステージ装置を備え、半導体素子、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを基板上に転写する際に使用される露光装置に関し、特に結像特性計測機構等の種々の機構を備えた露光装置に使用して好適なものである。

【0002】

40 【従来の技術】半導体素子等を製造する際に使用される一括露光型（ステッパ型）、又は走査露光型（ステップ・アンド・スキャン方式等）の露光装置には高い露光精度が要求されている。そのため、従来より露光装置においては、マスクとしてのレチクルを載置して位置決めするレチクルステージ、又は基板としてのウエハを載置して 2 次元移動するウエハステージには、それぞれその側面に移動鏡が固定されており、レーザ干渉計等の干渉計からその移動鏡に計測ビームを照射することによって、当該ステージの移動量が常時連続的に測定され、この測定値に基づいて高精度にステージの位置決めが行えるようになっている。このようなステージ装置においては通常は、可動ステージの 2 次元方向の移動成分、及び

回転成分という3自由度の変位計測を3軸の干渉計により実現している。

【0003】ところが、このような従来のステージ装置では、可動ステージの最大移動範囲（可動範囲）の全ての領域で各干渉計からの測定ビームが常に移動鏡にそれぞれ照射されている必要があるため、移動鏡は、可動ステージが移動しても各干渉計からの測定ビームを反射し続けるように、その寸法は可動範囲より大きくしておく必要があった。

【0004】このため、可動ステージの可動範囲を広げようとすると、大型の移動鏡が必要になり、それに伴ってステージ全体の形状も大きくならざるを得ず、そのためステージが重くなってしまい高速で移動させることが困難になるという問題が生じる。また、大型の移動鏡を所定の平面度で加工するには多大な技術的困難が伴い、さらに、大きな移動鏡に撓みを生じさせずに可動ステージの側面に固定することも技術的には多大の困難がある。ところが、移動鏡の平面度の低下は、干渉計によるステージの位置決め精度の低下に直接的につながるため、最終的に可動ステージの可動範囲を制限せざるを得ないという問題が生じている。

【0005】このような問題を解決するためのステージ装置として、例えば特開平7-253304号公報に開示されているものがある。この開示されたステージ装置は、可動ステージの変位の自由度の数（例えば、3自由度とする）よりも多い数の干渉計（例えば、4軸）を設置することによって、一の干渉計からの測定ビームが移動鏡の測定範囲から外れても、残りの干渉計により当該ステージの移動の自由度分の測定ができるようにしている。そして、移動鏡から外れたその一の干渉計の測定範囲内に再度移動鏡が入ったら、残りの干渉計での測定値をその一の干渉計の初期値として設定することにより、その一の干渉計により可動ステージの移動量を測定できるようにして、移動鏡の大きさを可動ステージの可動範囲よりも小さくしている。

【0006】また、これらの露光装置では、常に適正な露光量で、且つ高い結像特性を維持した状態で露光を行う必要があるため、レチクルの位置決めを行うレチクルステージ、又はウエハの位置決めを行うウエハステージには、露光光の照度等の状態、及び投影倍率等の結像特性を計測するための計測装置が備えられている。例えばウエハステージに備えられている計測装置としては、投影光学系に対する露光光の入射エネルギーを計測するための照射量モニタ、及び投影像の位置やコントラスト等を計測するための空間像検出系等がある。一方、レチクルステージ上に備えられている計測装置としては、例えば投影光学系の結像特性計測用に用いられる指標マークが形成された基準板がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記の如く従来の露光

装置においては、レチクルステージ、又はウエハステージに設けられた計測装置を用いて、露光量の適正化が図られると共に、高い結像特性が維持されていた。これに対して、最近の露光装置には、半導体素子等を製造する際の露光工程のスループット（生産性）を高めることも要求されている。スループットを向上させるための方法としては、単位時間当たりの露光エネルギーを増加させる方法の他に、ステージの駆動速度を大きくして、一括露光型ではステッピング時間を短縮し、走査露光型ではステッピング時間及び走査露光時間を短縮する方法がある。

【0008】このようにステージの駆動速度を向上させるには、ステージ系が同じ大きさである場合にはより大きい出力の駆動モータを使用すればよく、逆に従来と同じ出力の駆動モータで駆動速度を向上させるには、ステージ系を小型化、軽量化する必要がある。ところが、前者のようにより大きい出力の駆動モータを使用すると、その駆動モータから発生する熱量が増大する。このように増大する熱量は、ステージ系の微妙な熱変形を生じて、露光装置で要求されている高い位置決め精度が得られなくなる恐れがある。そこで、位置決め精度の劣化を防止して、駆動速度を向上するには、後者のようにステージ系をできるだけ小型化、軽量化することが望まれる。

【0009】特に、走査露光型の露光装置では、駆動速度の向上によって走査露光時間も短縮されてスループットが大きく改善されると共に、ステージ系の小型化によってレチクルとウエハとの同期精度も向上して、結像性能や重ね合わせ精度も向上するという大きな利点がある。ところが、従来のようにレチクルステージ、又はウエハステージに各種計測装置が備えられている場合には、ステージを小型化するのは困難である。

【0010】更に、レチクルステージ、又はウエハステージに露光光の状態、又は結像特性等を計測するための計測装置が備えられている場合、その計測装置には通常アンプ等の熱源が付属していると共に、計測中に露光光の照射によってその計測装置の温度が次第に上昇する。その結果、レチクルステージ、又はウエハステージが微妙に熱変形して、位置決め精度や重ね合わせ精度等が劣化する恐れもある。現状では、計測装置の温度上昇による位置決め精度等の劣化は僅かなものであるが、今後、半導体素子等の回路パターンが一層微細化するにつれて、計測装置の温度上昇の影響を抑制する必要性が高まると予想される。

【0011】これに関して、前述の特開平7-253304号公報に開示されたステージ装置を使用することによって、可動ステージの可動範囲に比べて移動鏡の長さを小さくすることができるが、この場合でも可動ステージ自体の小型化にはあまり寄与できない。従って、露光工程のスループットの向上、及び露光光の照射熱の影響

の軽減を図るためには、更に別の工夫が必要である。

【0012】また、露光装置、特に投影露光装置では、スループット向上の他に解像度、焦点深度（DOF：Depth of Forcus）、及び線幅制御精度等を向上させることも求められている。ここで、露光波長を λ とし、投影光学系の開口数を $N.A.$ とすると、解像度 R は $\lambda/N.A.$ に比例し、焦点深度 DOF は $\lambda/(N.A.)^2$ に比例する。このため、解像度 R を向上させる（ R の値を小さくする）ために、単に露光波長 λ を小さくして、開口数 $N.A.$ を大きくすると、焦点深度 DOF が小さくなり過ぎてしまう。

【0013】これに関して、デバイスを製造するためには、ライン・アンド・スペース（ L/S ）パターンのような周期的パターン、及びコンタクトホール（CH）パターンのような孤立的パターン等が組み合わさったパターンをウエハ上に形成する必要がある。そして、最近、例えば周期的パターンに関しては、特開平4-225514号公報に開示されているように、いわゆる変形照明法によって焦点深度を狭くすることなく、解像度を向上させる技術が開発されている。また、位相シフトレチクル法も開発されている。同様に、孤立的パターンに関しても、例えば照明光のコヒーレンスファクタを制御する等の方法で実質的に焦点深度等を向上させる技術が開発されている。

【0014】このような技術動向を背景にして、実質的に焦点深度を浅くし過ぎることなく解像度を向上させる方法として、二重露光法が見直されている。即ち、二重露光法を適用すれば、或るレイヤ用のレチクルパターンを種類に応じて複数のレチクルパターンに分割し、それぞれを最適な照明条件、及び露光条件で重ねて露光することによって、全体として広い焦点深度、及び高い解像度が得られる。最近では、この二重露光法を KrF エキシマレーザ、更には ArF エキシマレーザを露光光として用いる投影露光装置に適用して、例えば線幅が $0.1\mu m$ までの L/S パターンを含むデバイスのパターンを露光しようという試みも検討されている。

【0015】ところが、この二重露光法を1台のウエハステージを持つ投影露光装置に適用しようとすると、アライメントや露光等の工程をシリアルに繰り返して実行する必要があるために、スループットが大幅に劣化するという不都合がある。そこで、スループットを高めるために、ウエハステージを複数台設けて、アライメントと露光とを並列に実行できるようにした投影露光装置も提案されている。しかしながら、このように複数台のウエハステージを設ける場合、各ウエハステージの可動ステージの位置を単に干渉計で計測するものとする、各可動ステージが大きく移動する際に、対応する干渉計の計測ビームが途切れるために、各可動ステージを例えば交互に露光位置に位置決めする際に、各可動ステージを迅速に再現性を持つ状態で位置決めするのが困難であると

いう不都合があった。

【0016】本発明は斯かる点に鑑み、複数の機能を実行するステージ装置において、それらの複数の機能を実行できる状態で可動部を小型化して、その可動部を高速に移動できると共に、その可動部の位置を再現性を有する状態で高精度に計測できるステージ装置を提供することを第1の目的とする。また、本発明は、二重露光等を行うために、複数の可動部を設けた場合に、各可動部をそれぞれ目標とする位置に再現性を有する状態で迅速に位置決めできるステージ装置を提供することを第2の目的とする。

【0017】更に、本発明は、そのようなステージ装置を備え、レチクルのパターンを転写する際の特性、又は投影光学系の結像特性等を計測する機能を維持した状態で、レチクル、又はウエハを位置決めするための可動部を小型化できる露光装置を提供することを第3の目的とする。更に本発明は、そのようなステージ装置を備え、高いスループットで二重露光法等を実施できる露光装置を提供することを第4の目的とする。

【0018】また、本発明はそのようなステージ装置を用いて迅速に位置決めを行うことができる位置決め方法を提供することをも目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明による第1のステージ装置は、所定の移動面に沿って互いに独立に移動自在に配置された複数の可動ステージ（ WST 、14）と、その複数の可動ステージの内の一つの可動ステージの位置を所定の計測範囲内で計測する第1測定系（15X1、15X2、15Y）とを備えたステージ装置であって、その複数の可動ステージのそれぞれに対して、この可動ステージのその計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量、又はその基準位置に対する合致度を計測する第2測定系（16、17A、17B）を備え、その第2測定系の計測結果に基づいてその第1測定系の計測値の補正を行うものである。

【0020】斯かる本発明の第1のステージ装置によれば、例えば露光、及び特性計測等の複数の機能を実行する場合に、各機能毎（又は複数の機能群毎）に可動ステージを割り当てて複数の可動ステージ（可動部）を設ける。これによって、各可動ステージは小型化できるため、それぞれ高速に駆動できるようになる。ところが、単に複数の可動ステージを設けて、その第1測定系として相対変位測定系、例えば一軸のレーザ干渉計を設けた場合には、各可動ステージが大きく移動すると、レーザ干渉計の計測ビームが途切れるために、何等かの原点設定動作が必要になる。そこで、本発明では、一種の絶対値測定系としてその第2測定系（16、17A、17B）を設けた。

【0021】そして、その複数の可動ステージの内の一つの可動ステージ（ WST ）が、その第1測定系の計測

範囲の外部からその計測範囲内に入った際に、その第2測定系（絶対値測定系）によりその可動ステージのその計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量を計測し、例えばこの位置ずれ量をその第1測定系の計測値にプリセットすることで、その第1測定系の計測値がその可動ステージの位置を再現性を有する形で正確に示すようになる。又は、その第2測定系が合致度（例えば2つのランダムパターン同士の合致度）を計測する場合には、その合致度が所定のレベル以上となった場合には、その第1測定系の計測値をリセットするか、若しくは所定値にプリセットすればよい。これによって、各可動ステージは迅速に再現性を有する状態で高精度に位置決めされる。

【0022】次に、本発明による第2のステージ装置は、所定の移動面に沿って互いに独立に移動自在に配置された複数の可動ステージ（WST1、WST2）と、その複数の可動ステージの内の一つの可動ステージの位置を所定の第1の計測範囲内で計測する第1測定系（87Y3）とを備えたステージ装置であって、その複数の可動ステージのそれぞれに対して、その第1の計測範囲と部分的に重複する第2の計測範囲内で位置を連続的に計測する第2測定系（87Y2、87Y4）と、その第1及び第2測定系の計測結果に基づいてこの2つの測定系の計測結果を補正する制御系（38）と、を設けたものである。

【0023】斯かる本発明の第2のステージ装置によれば、例えば二重露光を行うために複数の可動ステージ

（WST1、WST2）が設けられる。この結果、その第1測定系として、例えば相対変位測定系としての1軸のレーザ干渉計を使用すると、各可動ステージを大きく移動させた場合に、そのレーザ干渉計の計測ビームから外れてしまうため、如何にして再現性を有する形で各可動ステージを位置決めするかが問題となる。これに対して、本発明ではその第1測定系としても例えば相対変位測定系としての1軸（又は複数軸）のレーザ干渉計を使用する。そして、その複数の可動ステージの内の一つの可動ステージが、例えばその第1の計測範囲側からその第2の計測範囲内に入る際には、その第1測定系及び第2測定系によって同時にその可動ステージの位置を計測し、その第1測定系の計測値をその可動ステージの回転角に応じて補正した値をその第2測定系の計測値にプリセットすることによって、その第1測定系の測定値がその第2測定系に受け渡される。これ以降は、その第2測定系を用いてその可動ステージを再現性を有する状態で高精度に位置決めできる。

【0024】この場合、その第1測定系、及び第2測定系はそれぞれ干渉の次数（整数） $N1$ 、 $N2$ 、位相（rad） $\phi 1$ 、 $\phi 2$ （これはヘテロダイン干渉方式では例えば参照信号と測定信号との位相差に相当する）、及び計測ビームの波長 λ の関数 $f(\lambda)$ を用いて、 $f(\lambda)$

$\{N1 + \phi 1 / (2\pi)\}$ 及び $f(\lambda) \{N2 + \phi 2 / (2\pi)\}$ の形で可動ステージの位置を計測するようにしてもよい。そして、その第2測定系の計測が可能となって、その第1測定系及び第2測定系によって同時にその可動ステージの位置を計測したときには、その第1測定系の計測値、及びその可動ステージの回転角よりその第2測定系の干渉の次数 $N2'$ 、及び位相 $\phi 2'$ を推定し、その次数 $N2'$ 、位相 $\phi 2'$ 、及びその第2測定系で計測される位相 $\phi 2$ より、その第2測定系の次数 $N2$ のプリセット値を決定することが望ましい。この後はその第2測定系の計測値を $f(\lambda) \{N2 + \phi 2 / (2\pi)\}$ とすることで、その可動ステージの回転角の計測誤差等が或る程度生じて、その第2測定系の固有の再現精度でその可動ステージの位置を計測できる。また、関数 $f(\lambda)$ は、一例として2以上の整数 m を用いて λ/m である。

【0025】次に、本発明による第1の露光装置は、本発明のステージ装置を備えた露光装置であって、そのステージ装置のその複数の可動ステージ（RST1、RST2）に互いに異なるパターンが形成されたマスク（R1、R2）を載置し、その複数の可動ステージ上のマスクのパターンを交互に位置決めを行いながら基板（W1）上に転写するものである。

【0026】斯かる本発明の第1の露光装置によれば、二重露光法を用いて露光を行うことができ、解像度、及び焦点深度の向上を図ることができる。また、本発明のステージ装置を備えているため、例えばレーザ干渉計によりその可動ステージの位置を計測する場合には、その可動ステージに設置する移動鏡をその可動ステージの移動範囲よりも小さくすることができ、その可動ステージの重量を小さくすることができる。従って、その可動ステージを高速に移動させることが容易になり、スループットの向上を図ることができる。

【0027】次に、本発明による第2の露光装置は、本発明のステージ装置を備えた露光装置であって、そのステージ装置のその複数の可動ステージ（RST、5）の第1の可動ステージ（RST）上にマスク（R）を載置し、第2の可動ステージ（5）上にそのマスクのパターンを転写する際の特性を計測するための特性計測装置（6）を載置し、そのマスク（R）のパターンを基板（W）上に転写するものである。

【0028】斯かる本発明の第2の露光装置によれば、本来の露光に使用するその第1の可動ステージ（RST）には露光に必要な最小限の機能のみを持たせることによって、その第1の可動ステージの大きさは必要最小限にできるため、ステージの小型化、軽量化を行いスループットの向上を図ることができる。一方、露光に直接必要がなく、そのマスク（R）のパターンを転写する際の特性を計測するための特性計測装置（6）は、別の第2の可動ステージ（5）に搭載されるため、そのマスクの

パターンを転写する際の特性を計測することもできる。また、本発明のステージ装置を備えているため、その複数の可動ステージの位置を高精度に計測することができる。

【0029】次に、本発明による第3の露光装置は、本発明のステージ装置を備えた露光装置であって、そのステージ装置のその複数の可動ステージ（WST1、WST2）上にそれぞれ基板（W1、W2）を載置し、その複数の可動ステージを交互に露光位置に位置決めしながら、その複数の基板上に交互に所定のマスクパターンを露光するものである。

【0030】斯かる本発明の第3の露光装置によれば、その複数の可動ステージ（WST1、WST2）の内の一方の可動ステージ（WST1）で露光動作を行いながら、別の可動ステージ（WST2）では基板の搬入搬出及びアライメント動作を行うことができ、スループットの向上を図ることができる。また、本発明のステージ装置を備えているため、その複数の可動ステージの位置を高精度に計測することができる。

【0031】次に、本発明による第4の露光装置は、本発明のステージ装置と、投影光学系（PL）とを備えた露光装置であって、そのステージ装置のその複数の可動ステージ（WST、14）の第1の可動ステージ（WST）上に基板（W）を載置し、第2の可動ステージ（14）上にその投影光学系の結像特性を計測するための特性計測装置（20）を載置し、その第1の可動ステージ上の基板上に所定のマスクパターンをその投影光学系を介して露光するものである。

【0032】斯かる本発明の第4の露光装置によれば、本来の露光に使用するその第1の可動ステージ（WST）には露光に必要な最小限の機能のみを持たせることによって、その第1の可動ステージ（WST）の小型化、軽量化を行いスループットの向上を図ることができる。一方、露光に直接必要がなく、その投影光学系の結像特性を計測するための特性計測装置（20）は、別の第2の可動ステージ（14）に搭載されるため、結像特性も計測できる。また、本発明のステージ装置を備えているため、その複数の可動ステージの位置を高精度に計測することができる。

【0033】次に、本発明による第1の位置決め方法は、本発明のステージ装置を用いた位置決め方法であって、その複数の可動ステージ（WST、14）の内の一つの可動ステージ（WST）がその第1測定系の計測範囲内に入った際に、この可動ステージのその計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量、又はその基準位置に対する合致度をその第2測定系により計測し、この計測結果に基づいてその第1測定系の計測値の補正を行うものである。斯かる位置決め方法によれば、その複数の可動ステージをそれぞれ容易に再現性を有する状態で高精度に位置決めできる。

【0034】次に、本発明による第2の位置決め方法は、本発明のステージ装置を用いた位置決め方法であって、その複数の可動ステージ（WST1、WST2）の内の一つの可動ステージがその第2の計測範囲側からその第1の計測範囲内に入る際に、その第1及び第2測定系によって同時にその可動ステージの位置を計測し、この計測結果に基づいてその第1測定系の計測結果をその第2測定系の計測結果に合わせるものである。斯かる位置決め方法によれば、その複数の可動ステージをそれぞれ容易に再現性を有する状態で高精度に位置決めできる。

【0035】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1の実施の形態につき図1～図4を参照して説明する。本例はステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置を示し、この図1において、露光時には、露光光源、ビーム整形光学系、照度分布均一化用のフライアイレンズ、光量モニタ、可変開口絞り、視野絞り、及びリレーレンズ系等を含む照明系1から射出された露光光1Lは、ミラー2、及びコンデンサレンズ3を介してレチクルRのパターン面（下面）のスリット状の照明領域を照明する。露光光1Lとしては、KrF（波長248nm）、若しくはArF（波長193nm）等のエキシマレーザ光、YAGレーザの高調波、又は水銀ランプの1線（波長365nm）等が使用できる。照明系1内の可変開口絞りを切り換えることによって、通常の照明方法、輪帯照明、いわゆる変形照明、及び小さいコヒーレンスファクタ（ σ 値）の照明等の内の所望の照明方法を選択できるように構成されている。露光光源がレーザ光源である場合には、その発光タイミング等は装置全体の動作を統制制御する主制御系10が、不図示のレーザ電源を介して制御する。

【0036】レチクルRのその露光光1Lによる照明領域9（図3参照）内のパターンの像は、投影光学系PLを介して投影倍率 β （ β は、 $1/4$ 倍、又は $1/5$ 倍等）で縮小されて、フォトリソが塗布されたウエハ（wafer）W上のスリット状の露光領域12に投影される。以下、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で走査露光時のレチクルR及びウエハWの走査方向に直交する非走査方向（即ち、図1の紙面に垂直な方向）に沿ってX軸を取り、走査方向（即ち、図1の紙面に平行な方向）に沿ってY軸を取って説明する。

【0037】まず、レチクルRは、レチクルステージRST上に真空吸着によって保持され、レチクルステージRSTは、平行に配置された2本のガイド4A及び4B上にエアベアリングを介してY方向に移動自在に載置されている。更に本例では、ガイド4A及び4B上に、レチクルステージRSTとは独立にエアベアリングを

介してY方向に移動自在に計測用ステージ5が載置されている。

【0038】図3は、レチクルステージRST及び計測用ステージ5を示す平面図であり、この図3において、Y方向（走査方向）に伸びたガイド4A及び4Bに沿って、それぞれ不図示のリニアモータ等によってY方向に駆動されるようにレチクルステージRST、及び計測用ステージ5が載置されている。ガイド4A、4Bの長さは、走査露光時のレチクルステージRSTの移動ストロークよりも、少なくとも計測用ステージ5の幅分だけ長く設定されている。また、レチクルステージRSTは、Y方向に移動する粗動ステージと、この粗動ステージ上で2次元的位置が微調整できる微動ステージとを組み合わせ構成されている。更に、レチクルマークステージRST上には、レチクルRをX方向に挟むような位置関係で1対の基準マーク板17C1、17C2が固定され、基準マーク板17C1、17C2にそれぞれ二次元の例えば十字型の基準マークMC1、MC2が形成されている。基準マークMC1、MC2とレチクルRの原版パターンとの位置関係は予め高精度に計測されて、主制御系10の記憶部に記憶されている。

【0039】そして、計測用ステージ5上にX方向に細長いガラス板よりなる基準板6が固定され、基準板6上に投影光学系PLの結像特性計測用の複数の指標マークIMが所定配置で形成されている。基準板6は、レチクルRに対する露光光のスリット状の照明領域9、より正確には投影光学系PLのレチクルR側の視野のX方向の幅を覆うことができるだけの大きさを備えている。基準板6を使用することで、結像特性計測用の専用レチクルを用意しておく必要がなく、且つ、実露光用のレチクルとその専用レチクルとの交換時間も不要となるため、結像特性を高頻度に計測でき、投影光学系PLの経時変化に正確に追従することができる。また、計測用ステージ5にも、X方向（非計測方向）に対する微小範囲での位置決め機構が備えられていると共に、計測用ステージ5上に、基準板6をX方向に挟むように1対の基準マーク板17D1、17D2が固定され、基準マーク板17D1、17D2にそれぞれ二次元の例えば十字型の基準マークMD1、MD2が形成されている。基準マークMD1、MD2と複数の指標マークIMとの位置関係も予め正確に計測されて、主制御系10の記憶部に記憶されている。

【0040】このように本例では、基準板6用の計測用ステージ5が独立に設けられ、本来のレチクルステージRST上には、レチクルRの他に計測用の部材は搭載されていない。即ち、レチクルステージRSTは、走査露光のために必要最小限の走査、及び位置決め機能のみを備えればよいため、レチクルステージRSTの小型化、軽量化が実現されている。従って、レチクルステージRSTをより高速に走査できるため、露光工程のスループ

ットが向上する。特に縮小投影の場合には、レチクルステージRSTの走査速度はウエハステージの走査速度の $1/\beta$ 倍（例えば4倍、5倍等）になるため、走査速度の上限はレチクルステージでほぼ決定されることがあり、この場合には本例では特にスループットが大きく向上する。

【0041】また、ガイド4A、4Bに対して+Y方向に設置されたレーザ干渉計7YからレチクルステージRSTの+Y方向の側面の移動鏡24Yにレーザビームが照射され、+X方向に設置された2軸のレーザ干渉計7X1、7X2からレチクルステージRSTの+X方向の側面の移動鏡24Xにレーザビームが照射され、レーザ干渉計7Y、7X1、7X2によってレチクルステージRSTのX座標、Y座標、及び回転角が計測され、計測値が図1の主制御系10に供給され、主制御系10はその計測値に基づいてリニアモータ等を介してレチクルステージRSTの速度や位置を制御する。また、ガイド4A、4Bに対して-Y方向に設置されたレーザ干渉計8Yから計測用ステージ5の-Y方向の側面の移動鏡25Yにレーザビームが照射され、レーザ干渉計8Yによって計測される計測用ステージ5のY座標が主制御系10に供給されている。Y軸のレーザ干渉計7Y及び8Yの光軸は、それぞれY方向に沿って照明領域9の中心、即ち投影光学系PLの光軸AXを通過しており、レーザ干渉計7Y及び8Yは、それぞれ常時レチクルステージRST及び計測用ステージ5の走査方向の位置を計測している。

【0042】なお、レチクルステージRSTの直交する側面を鏡面加工しておき、これらの鏡面を移動鏡24X、24Yとみなしてもよく、計測用ステージ5の直交する側面を鏡面加工しておき、これらの鏡面を移動鏡25X、25Yとみなしてもよい。更に、本例では図1に示すように、レチクルRの上方に、レチクルR上に形成されたアライメントマーク（レチクルマーク）と、対応するウエハステージ上の基準マーク（不図示）との位置ずれ量を検出するための1対のレチクルアライメント顕微鏡RA及びRBが配置されている。レチクルアライメント顕微鏡RA、RBの検出中心を通る直線はX軸に平行であり、それらの検出中心の中心は、光軸AXに合致している。本例では、本発明の第2測定系（絶対値測定系）に対応するレチクルアライメント顕微鏡RA、RBを用いて、図3に示すレチクルステージRST上の基準マークMC1、MC2、及び計測用ステージ5上の基準マークMD1、MD2の位置を検出する。

【0043】そして、結像特性の計測時に、レチクルステージRSTを+Y方向に待避させて、基準板6がほぼ照明領域9を覆うように計測用ステージ5をY方向に移動すると、レーザ干渉計7X1、7X2からのレーザビームがレチクルステージRSTの側面から外れて計測用ステージ5の+X方向の移動鏡25Xに照射されるよう

になる。このとき、レチクルアライメント顕微鏡 R A、R B により基準板 6 上の基準マーク M D 1、M D 2 の検出中心（視野の中心）からの位置ずれ量をそれぞれ検出し、図 1 の主制御系 10 は、基準マーク M D 1、M D 2 の中心がそれぞれ対応する検出中心に対して対称に、かつ最も位置ずれ量が小さくなるように計測用ステージ 5 を位置決めする。そして、この状態で、X 軸のレーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 の計測値をそれぞれリセットする。なお、それらの計測値を例えば所定の値にプリセットしてもよい。

【0044】この後は、レーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 により計測用ステージ 5 の X 方向の位置、及び回転角が再現性を有する状態で高精度に計測され、計測用ステージ 5 の Y 方向の位置はレーザ干渉計 8 Y によって常時高精度に計測されている。従って、これらの計測値に基づいて主制御系 10 は、リニアモータ等を介して計測用ステージ 5 の位置を高精度に制御することができる。なお、上記のように基準マーク M D 1、M D 2 の位置ずれ量を最小にする代わりに、それらの位置ずれ量に基づいて、レーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 の計測値をそれぞれ対応する値にプリセットするようにしてもよい。

【0045】一方、計測中には、レチクルステージ R S T の非走査方向の位置は計測されないが、露光のためにレチクルステージ R S T が照明領域 9 下に達すれば、再びレーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 からのレーザビームがレチクルステージ R S T の移動鏡 24 X に照射されるようになる。そして、計測用ステージ 5 の場合と同様に、レチクルアライメント顕微鏡 R A、R B を用いてレチクルステージ R S T 上の基準マーク M C 1、M C 2 の位置ずれ量を検出し、主制御系 10 は、それらの位置ずれ量が対称に、かつ最も小さくなるようにレチクルステージ R S T を位置決めした状態で、レーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 の計測値を所定の値にプリセットする。この後は、再現性のある状態でレチクルステージ R S T の X 方向の位置、及び回転角の計測が行われ、Y 方向の位置はレーザ干渉計 7 Y によって常時計測されているため、レチクルステージ R S T を高精度に所望の位置に位置決めすることができる。従って、レーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 からのレーザビームが途切れることの不都合は無い。

【0046】図 1 に戻り、ウエハ W は不図示のウエハホルダを介してウエハステージ W S T 上に保持され、ウエハステージ W S T は定盤 13 上にエアベアリングを介して X 方向、Y 方向に移動自在に載置されている。ウエハステージ W S T には、ウエハ W の Z 方向の位置（フォーカス位置）、及び傾斜角を制御するフォーカス・レベリング機構も組み込まれている。また、定盤 13 上にウエハステージ W S T とは別体でエアベアリングを介して X 方向、Y 方向に移動自在に各種の計測装置が備えられた計測用ステージ 14 が載置されている。計測用ステージ 14 にも、その上面のフォーカス位置を制御する機

構が組み込まれている。

【0047】図 2 は、ウエハステージ W S T、及び計測用ステージ 14 を示す平面図であり、この図 2 において、定盤 13 の表面の内部には例えば所定の配列でコイル列が埋め込まれ、ウエハステージ W S T の底面、及び計測用ステージ 14 の底面にはそれぞれヨークと共に磁石列が埋め込まれ、そのコイル列、及び対応する磁石列によってそれぞれ平面モータが構成され、この平面モータによってウエハステージ W S T、及び計測用ステージ 14 の X 方向、Y 方向の位置、及び回転角が互いに独立に制御されている。なお、平面モータについては、例えば特開平 8-51756 号公報においてより詳細に開示されている。

【0048】本例のウエハステージ W S T は、露光に必要な最小限の機能のみを備えている。即ち、ウエハステージ W S T は、フォーカス・レベリング機構を備えると共に、ウエハステージ W S T 上には、ウエハ W を吸着保持するウエハホルダ（ウエハ W の底面側）と、ウエハステージ W S T の位置計測用の基準マーク M A が形成された基準マーク板 17 A とが設置されている。基準マーク板 17 A 上には、レチクルアライメント用の基準マーク（不図示）も形成されている。

【0049】また、図 1 に示すように、ウエハ W のアライメント用のオフ・アクシス方式で画像処理方式のウエハアライメントセンサ 16 が投影光学系 P L に隣接して設けられており、ウエハアライメントセンサ 16 の検出信号が主制御系 10 内のアライメント処理系に供給されている。ウエハアライメントセンサ 16 は、ウエハ W 上の各ショット領域に付設されたアライメントマーク（ウエハマーク）の位置計測用のセンサである。本例では、ウエハアライメントセンサ 16 を用いて、ウエハステージ W S T 上の基準マーク M A 等の位置検出を行う。即ち、ウエハアライメントセンサ 16 は、本発明の第 2 測定系（絶対値測定系）に対応している。

【0050】また、計測用ステージ 14 の表面は、ウエハステージ W S T 上のウエハ W の表面とほぼ同じ高さに設定されている。そして、図 2 において、計測用ステージ 14 には、投影光学系 P L を通過した露光光の全部の単位時間当たりのエネルギー（入射エネルギー）を計測するための光電センサよりなる照射量モニタ 18、投影光学系 P L によるスリット状の露光領域 12 内での照度分布を計測するための光電センサよりなる照度むらセンサ 19、結像特性測定用のスリット 21 X、21 Y が形成された測定板 20、及び位置基準となる基準マーク M B が形成された基準マーク板 17 B が固定されている。基準マーク M B と照度むらセンサ 19 等との位置関係は予め高精度に計測されて、図 1 の主制御系 10 の記憶部に記憶されている。基準マーク M B の位置もウエハアライメントセンサ 16 によって計測される。

【0051】測定板 20 の X 軸のスリット 21 X、及び

Y軸のスリット21Yの底面側にはそれぞれ集光レンズ、及び光電センサが配置され、測定板20、及び光電センサ等より空間像検出系が構成されている。なお、そのスリット21X、21Yの代わりに、矩形開口のエッジを使用してもよい。そして、照射量モニタ18の受光面は、露光領域12を覆う大きさに形成されると共に、照度むらセンサ19の受光部はピンホール状となっており、照射量モニタ18及び照度むらセンサ19の検出信号は図1の主制御系10に供給されている。

【0052】また、測定板20の底部の光電センサの検出信号は図1の結像特性演算系11に供給されている。この場合、投影光学系PLの結像特性の計測時には、図3のレチクル側の計測用ステージ5上の基準板6が照明領域9に移動され、基準板6に形成されている指標マークIMの像がウエハステージ側に投影され、その像を計測板20上のスリット21X、21YでそれぞれX方向、Y方向に走査しつつ、底部の光電センサからの検出信号を結像特性演算系11で取り込む。結像特性演算系11では、その検出信号を処理してその指標マークIMの像の位置、及びコントラスト等を検出し、この検出結果より投影像の像面湾曲、ディストーション、ベストフォーカス位置等の結像特性を求めて主制御系10に出力する。更に、不図示であるが、投影光学系PL内の所定のレンズを駆動して所定のディストーション等の結像特性を補正する機構も設けられており、主制御系10はこの補正機構を介して投影光学系PLの結像特性を補正できるように構成されている。

【0053】図2において、計測用ステージ14に備えられている照射量モニタ18、照度むらセンサ19、及び測定板20の底部の光電センサ等のセンサには、何れもアンプ等の発熱源、及び電源や通信用の信号ケーブルが接続されている。従って、それらのセンサが露光用のウエハステージWSTに搭載されていると、センサに付随する熱源や信号ケーブルの張力によって位置決め精度等が劣化する恐れがある。また、結像特性等の計測中の露光光の照射による熱エネルギーも位置決め精度の悪化等を招く恐れがある。これに対して本例では、それらのセンサが露光用のウエハステージWSTから分離された計測用ステージ14に設けられているため、ウエハステージWSTを小型化、軽量化できると共に、計測用のセンサの熱源や計測中の露光光の熱エネルギーによる位置決め精度の低下が防止できる利点がある。更に、ウエハステージWSTの小型化によって、ウエハステージWSTの移動速度や制御性が向上し、露光工程のスループットが高まると共に、位置決め精度等がより向上する。

【0054】また、定盤13に対して+Y方向に設置されたレーザ干渉計15YからウエハステージWSTの+Y方向の側面の移動鏡22Yにレーザビームが照射され、-X方向に設置された2軸のレーザ干渉計15X1、15X2からウエハステージWSTの-X方向の側

面の移動鏡22Xにレーザビームが照射され、レーザ干渉計15Y、15X1、15X2によってウエハステージWSTのX座標、Y座標、及び回転角が計測され、計測値が図1の主制御系10に供給され、主制御系10はその計測値に基づいて平面モータを介してウエハステージWSTの速度や位置を制御する。同様に、計測用ステージ14の側面にもX軸の移動鏡23X、及びY軸の移動鏡23Yが取り付けられている。なお、ウエハステージWSTの直交する側面を鏡面加工して、これらの鏡面を移動鏡22X、22Yとみなしてもよく、同様に計測用ステージ14の側面の鏡面を移動鏡23X、23Yとみなしてもよい。

【0055】そして、露光光の入射エネルギー等の計測時には、それらの位置計測用のレーザビームは計測用ステージ14の移動鏡23X、23Yに照射される。図4は、露光光の入射エネルギー等の計測時のウエハステージWST、及び計測用ステージ14の配置の一例を示し、このようにウエハステージWSTを露光領域12から離れた位置に待避させて、露光領域12にかかるように計測用ステージ14を移動すると、レーザ干渉計15X1、15X2、15Yからのレーザビームが、ウエハステージWSTの移動鏡22X、22Yから外れて計測用ステージ14の移動鏡23X、23Yに照射されるようになる。このときに、計測用ステージ14上の基準マークMBが、図1のウエハアライメントセンサ16の視野16a内に入るように計測用ステージ14を移動して、かつ2軸のX軸のレーザ干渉計15X1、15X2の計測値が同一の値となるように、計測用ステージ14の回転角を制御した状態で、基準マークMBの検出中心からの位置ずれ量を検出する。そして、主制御系10は、この位置ずれ量のX成分、及びY成分をそれぞれレーザ干渉計15X1、15X2、及びレーザ干渉計15Yの計測値にプリセットする。この後は、レーザ干渉計15X1、15X2、15Yにより再現性を有する状態で高精度に計測用ステージ14の位置が計測され、この計測値に基づいて主制御系10は、平面モータを介して計測用ステージ14の位置を高精度に制御することができる。

【0056】一方、露光時には、図2に示すように、計測用ステージ14を待避させて、ウエハステージWSTの移動鏡22X、22Yにレーザ干渉計15X1、15X2、15Yからのレーザビームが照射されるようにして、基準マークMAをウエハアライメントセンサ16の視野16a内に移動して、レーザ干渉計15X1、15X2の計測値を一致させた状態で、基準マークMAの位置ずれ量を計測し、この計測値に基づいてレーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測値のプリセットを行う。この後は、再現性を有する状態で高精度にウエハステージWSTの位置決めが行われる。なお、平面モータをオープンループで駆動することによってもウエハステ

ージWST、及び計測用ステージ14の位置は大きめに制御できるため、レーザビームが照射されていない状態では、主制御系10はウエハステージWST、及び計測用ステージ14の位置を平面モータを用いてオープンループ方式で駆動する。

【0057】図1に戻り、不図示であるが、投影光学系PLの側面には、ウエハWの表面のフォーカス位置を計測するための斜入射方式の焦点位置検出系（AFセンサ）が配置され、この検出結果に基づいて、走査露光中のウエハWの表面が投影光学系PLの像面に合焦される。次に、本例の投影露光装置の動作につき説明する。まず、ウエハステージ側の計測用ステージ14を用いて投影光学系PLに対する露光光ILの入射光量を計測する。この場合、レチクルRがロードされた状態での入射光量を計測するために、図1において、レチクルステージRST上に露光用のレチクルRがロードされ、レチクルRが露光光ILの照明領域上に移動する。その後、図4に示すように、ウエハステージWSTは定盤13上で例えば+Y方向に待避し、計測用ステージ14が投影光学系PLによる露光領域12に向かって移動する。その後、上記のようにレーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測値のプリセットを行った後、計測用ステージ14上の照射量モニタ18の受光面が露光領域12を覆う位置で計測用ステージ14が停止し、この状態で照射量モニタ18を介して露光光ILの光量が計測される。

【0058】主制御系10では、その計測された光量を結像特性演算系11に供給する。この際に、例えば照明系1内で露光光ILから分岐して得られる光束を検出して得られる計測値も結像特性演算系11に供給されており、結像特性演算系11では、2つの計測値に基づいて、照明系1内でモニタされる光量から投影光学系PLに入射する光量を間接的に演算するための係数を算出して記憶する。この間に、ウエハステージWSTにはウエハWがロードされる。その後、図2に示すように、計測用ステージ14は露光領域12から離れた位置に待避し、ウエハステージWSTが露光領域12に向かって移動する。ウエハステージWSTが待避中であるときには、図4に示すように、レーザ干渉計15Y、15X1、15X2からのレーザビームは照射されないため、例えば平面モータをオープンループ方式で駆動することによって位置制御が行われている。

【0059】そして、計測用ステージ14を露光領域12から待避させて、ウエハステージWSTを露光領域12にかかる位置に移動させて、上記のようにレーザ干渉計15Y、15X1、15X2の計測値のプリセットを行った後、ウエハステージWST上の基準マーク部材17A上のレチクル用の基準マーク（不図示）の中心が、光軸AX（露光領域12の中心）付近に位置するようにウエハステージWSTの移動が行われる。その後、レチクルアライメント顕微鏡RA、RBを用いて、レチクル、

R上のレチクルマークと、基準マーク板17A上の対応する基準マークとの位置ずれ量が所定の許容範囲内になるように、図1のレチクルステージRSTを駆動することによって、レチクルRのアライメントが行われる。これとほぼ同時に、その基準マーク板17A上の別の基準マークMAの位置を再び図1のウエハアライメントセンサ16で検出することによって、そのセンサの検出中心とレチクルRの投影像の中心との間隔（ベースライン量）が正確に検出される。

【0060】次に、ウエハアライメントセンサ16を介してウエハW上の所定のショット領域（サンプルショット）に付設されたウエハマークの位置を検出することによって、ウエハWの各ショット領域の配列座標が求められる。その後、その配列座標、及び上記のベースライン量に基づいて、ウエハWの露光対象のショット領域とレチクルRのパターン像との位置合わせを行いながら、走査露光が行われる。ウエハW上の各ショット領域への走査露光時には、図1において、露光光ILの照明領域9（図3参照）に対して、レチクルステージRSTを介してレチクルRが+Y方向（又は-Y方向）に速度VRで走査されるのに同期して、露光領域12に対してウエハステージWSTを介してウエハWが-X方向（又は+X方向）に速度 $\beta \cdot VR$ （ β は投影倍率）で走査される。

【0061】また、露光中には、例えば照明系1内で露光光ILから分岐した光束の光量が常時計測されて結像特性演算系11に供給され、結像特性演算系11では、供給される光量の計測値、及び予め求めてある係数に基づいて投影光学系PLに入射する露光光ILの光量を算出し、露光光ILの吸収によって発生する投影光学系PLの結像特性（投影倍率、ディストーション等）の変化量を計算し、この計算結果を主制御系10に供給する。主制御系10では、例えば投影光学系PL内の所定のレンズを駆動することによって、その結像特性の補正を行う。

【0062】以上が、通常の露光であるが、本例の投影露光装置のメンテナンス等で装置状態を計測するときには、計測用ステージ14を露光領域12側に移動して計測を行う。例えば、露光領域12内の照度均一性を測定するときは、レチクルRをレチクルステージRSTから除いた後、図4において、照度むらセンサ19を露光領域12内でX方向、Y方向に微動しながら照度分布を計測する。

【0063】次に、レチクルステージ側の計測用ステージ5、及びウエハステージ側の計測用ステージ14を用いて、投影光学系PLの結像測定を測定する動作につき説明する。この場合、図3において、レチクルステージRSTは+Y方向に待避して、計測用ステージ5上の基準板6が照明領域9内に移動する。このとき、計測用ステージ5には非走査方向のレーザ干渉計7X1、7X2からのレーザビームも照射されるようになり、レチクル

アライメント顕微鏡RA、RBを用いて上記のように計測値のリセット（又はプリセット）が行われる。その後、レーザ干渉計7X1、7X2、8Yの計測値に基づいて計測用ステージ5は高精度に位置決めされる。

【0064】このときに、既に説明したように、ウエハステージ側には複数の指標マークIMの像が投影光学系PLを介して投影される。この状態で、図4において、計測用ステージ14を駆動して、測定板20上のスリットでその指標マークIMの像をX方向、Y方向に走査し、測定板20の底部の光電センサの検出信号を結像特性演算系11で処理することによって、それらの像の位置、及びコントラストが求められる。また、測定板20のフォーカス位置を所定量ずつ変えながら、それらの像の位置、及びコントラストが求められる。これらの測定結果より、結像特性演算系11は、投影光学系PLの投影像のベストフォーカス位置、像面湾曲、ディストーション（倍率誤差を含む）といった結像特性の変動量を求める。この変動量は主制御系10に供給され、その変動量が許容範囲を超える場合には、主制御系10は投影光学系PLの結像特性を補正する。

【0065】以上のように、本例の投影露光装置では、ウエハアライメントセンサ16によって基準マークMA、MBの位置を検出して、この位置情報に基づいてレーザ干渉計15X1、15X2、15Yのプリセットを行うため、レーザ干渉計15X1、15X2、15YによりウエハステージWST、又は計測用ステージ14の位置を高い再現性で高精度に計測して制御することができる。同様に、レチクルアライメント顕微鏡RA、RBにより基準マークMC1、MC2又はMD1、MD2の位置を検出して、レーザ干渉計7X1、7X2のリセット等を行うことにより、レチクルステージRST、又は計測用ステージ5の位置を高い再現性で高精度に計測して制御することができる。

【0066】次に、本発明の第2の実施の形態につき図5～図12を参照して説明する。本例は、二重露光法により露光を行うステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図5は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図5において、本例の投影露光装置は、ベース盤86を感応基板としてのウエハW1、W2をそれぞれ保持して独立して2次元方向に移動する複数の可動ステージとしてのウエハステージWST1、WST2を備えたステージ装置、このステージ装置の上方に配置された投影光学系PL1、投影光学系PL1の上方でマスクとしてのレチクルR1又はR2（図6参照）を所定の走査方向に駆動するレチクル駆動機構、レチクルR1、R2を上方から照明する照明系、及びこれら各部を制御する制御系等を備えている。以下、投影光学系PL1の光軸AX1に平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図5の紙面に平行にX軸を、図5の紙面に垂直にY軸を取って説明する。本例では、

Y軸に平行な方向（Y方向）が走査方向である。

【0067】まず、ステージ装置は、ベース盤86上に不図示の空気軸受けを介して浮上支持され、X方向及びY方向に独立して移動自在な2つのウエハステージWST1、WST2と、これらのウエハステージWST1、WST2を駆動するウエハステージ駆動系81Wと、ウエハステージWST1、WST2の位置を計測する干渉計システムとを備えている。

【0068】これをさらに詳述すると、ウエハステージWST1、WST2の底面には不図示のエアパッド（例えば、真空予圧型空気軸受け）が複数箇所に設けられており、このエアパッドの空気噴き出し力と真空予圧力とのバランスにより例えば数 μm の間隔を保った状態で、ウエハステージWST1、WST2はベース盤86上に浮上支持されている。

【0069】図7は、ウエハステージWST1、WST2の駆動機構を示し、この図7において、ベース盤86上には、X方向に延びる2本のX軸リニアガイド95A、95Bが平行に設けられている。X軸リニアガイド95A、95Bに沿ってそれぞれリニアモータ用の1組の永久磁石が固定されており、これらのX軸リニアガイド95A及び95Bに沿って移動自在にそれぞれ2つの移動部材93A、93C及び2つの移動部材93B、93Dが取り付けられている。これら4つの移動部材93A～93Dの底面部には、X軸リニアガイド95A又は95Bを上方及び側方から囲むように不図示の駆動コイルがそれぞれ取り付けられており、これらの駆動コイルとX軸リニアガイド95A又は95Bとによって、各移動部材93A～93DをX方向に駆動するムービングコイル型のリニアモータがそれぞれ構成されている。そこで、以下の説明では、便宜上、これらの移動部材93A～93Dを「X軸リニアモータ」と呼ぶものとする。

【0070】この内2つのX軸リニアモータ93A、93Bは、Y方向に延びるY軸リニアガイド94Aの両端に設けられ、残り2つのX軸リニアモータ93C、93Dも、Y方向に延びるY軸リニアガイド94Bの両端に固定されている。Y軸リニアガイド94A、94BにはそれぞれY方向に沿ってリニアモータ用の1組の駆動コイルが固定されている。従って、Y軸リニアガイド94Aは、X軸リニアモータ93A、93BによってX軸リニアガイド95A、95Bに沿ってX方向に駆動され、Y軸リニアガイド94Bは、X軸リニアモータ93C、93DによってX軸リニアガイド95A、95Bに沿ってX方向に駆動される。

【0071】一方、ウエハステージWST1の底部には、一方のY軸リニアガイド94Aを上方及び側方から囲む不図示の1組の永久磁石が設けられており、この永久磁石とY軸リニアガイド94AとによってウエハステージWST1をY方向に駆動するムービングマグネット型のリニアモータが構成されている。同様に、ウエハス

テージWST2の底部に設けられた不図示の1組の永久磁石と、Y軸リニアガイド94BとによってウエハステージWST2をY方向に駆動するムービングマグネット型のリニアモータが構成されている。

【0072】即ち、本例では、上述したX軸リニアガイド95A、95B、X軸リニアモータ93A～93D、Y軸リニアガイド94A、94B及びウエハステージWST1、WST2の底部の不図示の永久磁石等によって、ウエハステージWST1、WST2を独立してXY平面上で2次元駆動するステージ系が構成されている。これらのウエハステージWST1、WST2は、図5のステージ駆動系81Wを介してステージ制御装置38によって制御される。ステージ制御装置38の動作は主制御装置90によって制御されている。

【0073】なお、Y軸リニアガイド94Aの両端に設けられた一对のX軸リニアモータ93A、93Bの推力のバランスを若干変化させることで、ウエハステージWST1に微小なヨーイングを発生させたり、除去することも可能である。同様に、一对のX軸リニアモータ93C、93Dの推力のバランスを若干変化させることで、ウエハステージWST2に微小なヨーイングを発生させたり、除去することもできる。これらのウエハステージWST1、WST2上には、不図示のウエハホルダを介してそれぞれウエハW1、W2が真空吸着等により固定されている。ウエハホルダは、不図示のZ・θ駆動機構によってZ方向及びθ方向（Z軸の回りの回転方向）に微小駆動されるようになっている。

【0074】また、ウエハステージWST1の-X方向及び+Y方向の側面は、鏡面仕上げがなされた反射面84X、84Y（図6参照）となっており、同様に、ウエハステージWST2の+X方向及び+Y方向の側面は、鏡面仕上げがなされた反射面85X、85Yとなっている。これらの反射面が移動鏡に対応しており、これらの反射面に、後述する干涉計システムを構成する各レーザ干涉計からレーザビームよりなる計測ビーム92X2、92X5、92Y1～92Yが投射され、その反射光を各レーザ干涉計で受光することにより、各反射面の基準面（一般には投影光学系側面やアライメント光学系の側面に参照ミラーを配置し、そこを基準面とする）からの変位を計測し、これにより、ウエハステージWST1、WST2の2次元位置がそれぞれ計測されるようになっている。なお、干涉計システムの構成については、後に詳述する。

【0075】図5において、投影光学系PL1としては、Z方向の共通の光軸を有する複数枚のレンズエレメントから成り、両側テレセントリックで所定の縮小倍率、例えば1/5を有する屈折光学系が使用されている。なお、投影光学系PL1として反射屈折系や反射系を使用してもよい。この投影光学系PL1のX方向の両側には、図5に示すように、互いに同じ機能を持ったオ

フ・アクシス（off-axis）方式のアライメント系88A、88Bが、投影光学系PL1の光軸AX1（レチクルパターンの投影像の中心と一致する）よりそれぞれ同一距離だけ離れた位置に設置されている。これらのアライメント系88A、88Bは、スリット状のレーザビームを用いるLSA（Laser StepAlignment）系、画像処理方式のFIA（Field Image Alignment）系、例えば2本のヘテロダインビームの回折光を検出するLIA（Laser InterferometricAlignment）系の3種類のアライメントセンサを有しており、基準マーク板上の基準マーク及びウエハ上のアライメントマークの2次元方向（X方向及びY方向）の位置計測を行うことができる。本例では、これら3種類のアライメントセンサを、適宜目的に応じて使い分け、ウエハ上の3点の一次元マークの位置を検出してウエハの概略位置計測を行ういわゆるサーチアライメントや、ウエハ上の各ショット領域の正確な位置計測を行うファインアライメント等を行っている。

【0076】この場合、一方のアライメント系88Aは、ウエハステージWST1上に保持されたウエハW1上のアライメントマークの位置計測等に用いられる。また、他方のアライメント系88Bは、ウエハステージWST2上に保持されたウエハW2上のアライメントマークの位置計測等に用いられる。これらのアライメント系88A、88Bを構成する各アライメントセンサからの検出信号は、アライメント制御装置80に供給され、アライメント制御装置80では供給された検出信号をA/D（アナログ／デジタル）変換し、デジタル化した波形信号を演算処理してマーク位置を検出する。この検出結果が主制御装置90に送られ、主制御装置90からその検出結果に応じてステージ制御装置38に対して露光時の位置補正情報等が出力されるようになっている。

【0077】また、図示省略したが、投影光学系PL1、及びアライメント系88A、88Bのそれぞれには、ウエハW1（又はW2）の露光面のベストフォーカス位置からのデフォーカス量を検出するためのオートフォーカス／オートレベリング計測機構（以下、「AF／AL系」という）が設けられている。この内、投影光学系PL1のAF／AL系としては、いわゆる斜入射方式の多点AF系が使用されている。そして、アライメント系88A、88Bにも同様なAF／AL系が設けられている。即ち、本例では、露光時のデフォーカス量の検出に用いられるAF／AL系とほぼ同一の計測領域に対して、アライメントシーケンス時に用いられるAF／AL系によっても検出ビームが照射できる構成となっている。このため、アライメント系88A、88Bを使用したアライメントシーケンス時にも、露光時と同程度の合焦精度で高精度にアライメントマークの位置計測を行うことができる。換言すれば、露光時とアライメント時との間で、ステージの姿勢によるオフセット（誤差）が発

生しなくなる。

【0078】次に、レチクル駆動機構について、図5及び図6を参照して説明する。このレチクル駆動機構は、レチクルベース盤79上をレチクルR1を保持してXY平面の2次元方向に移動可能なレチクルステージRST1と、同じ移動面に沿ってレチクルR2を保持して2次元方向に移動可能なレチクルステージRST2と、これらのレチクルステージRST1、RST2を駆動する不図示のリニアモータと、これらのレチクルステージRST1、RST2の位置を管理するレチクル干渉計システムとを備えている。

【0079】これを更に詳述すると、図6に示されるように、これらのレチクルステージRST1、RST2は走査方向(Y方向)に直列に設置されており、不図示の空気軸受を介してレチクルベース盤79上に浮上支持され、レチクルステージ駆動機構81R(図5参照)によりX方向の微小駆動、θ方向の微小回転及びY方向の走査駆動がなされるように構成されている。なお、レチクルステージ駆動機構81Rは、ウエハ用のステージ装置と同様のリニアモータを駆動源としているが、図5では説明の便宜上から単なるブロックとして示しているものである。このため、レチクルステージRST1、RST2上のレチクルR1、R2が例えば二重露光の際に選択的に使用され、何れのレチクルR1、R2についてもウエハW1、W2と同期走査できる様な構成となっている。

【0080】これらのレチクルステージRST1、RST2上には、+X方向の側面に、レチクルステージRST1、RST2と同じ素材(例えばセラミックス等)から成る移動鏡82A、82BがそれぞれY方向に延設されており、これらの移動鏡82A、82Bの+X方向の反射面に向けてレーザ干渉計(以下、単に「干渉計」という)83X1～83X5からレーザビームよりなる計測ビーム91X1～91X5が照射され、干渉計83X1～83X5ではその反射光を受光して所定の基準面に対する相対変位を計測することにより、レチクルステージRST1、RST2のX方向の位置を計測している。ここで、干渉計83X3からの計測ビーム91X3は、実際にはそれぞれ独立に変位計測できるY方向に離れた2本の計測ビームを有しており、これらの2つの計測値よりレチクルステージRST1、RST2のX方向の位置とヨーイング量(Z軸の回りの回転角)とを計測することができる。

【0081】本例では、計測ビーム91X1～91X5のY方向の間隔は、移動鏡82A、82BのY方向の幅よりも短く設定されており、これによって移動鏡82A、82Bには常時何れかの計測ビーム91X1～91X5が照射されている。また、或る時点で隣接する2本の計測ビーム(例えば91X1、91X2)が同一の移動鏡(例えば82B)に同時に照射されるようになり、

この状態を対応する干渉計83X1、83X2が部分的に計測範囲を重複しているとみなすことができる。これによって、後述のように干渉計83X1～83X4の計測値を順次干渉計83X2～83X5の計測値に高精度に受け渡すことができる。干渉計83X1～83X5の計測値は図5のステージ制御装置38に供給され、これらの計測値に基づいてステージ制御装置38は、ウエハステージWST1、WST2との同期誤差を補正するために、レチクルステージ駆動機構81Rを介してレチクルステージRST1、RST2の回転制御やX方向の位置制御を行なう。

【0082】一方、図6において、第1のレチクルステージRST1の走査方向に沿った-Y方向の端部には、一対の移動鏡としてのコーナーキューブ89A、89Bが設置されている。そして、一対のダブルパス方式の干渉計(不図示)から、これらのコーナーキューブ89A、89Bに対して、それぞれ2本のレーザビームよりなる計測ビーム(図6では、1本の計測ビームで代表している)91Y1、91Y2が照射され、その不図示の一対の干渉計によって所定の基準面に対してレチクルステージRST1のY方向の相対変位が計測される。また、第2のレチクルステージRST2の+Y方向の端部にも、一対のコーナーキューブ89C、89Dが設置され、一対のダブルパス方式の干渉計83Y3、83Y4からこれらのコーナーキューブ89C、89Dに対して計測ビーム91Y3、91Y4(実際にはそれぞれ2本のレーザビームよりなる)が照射され、干渉計83Y3、83Y4によってそれぞれレチクルステージRST2のY方向の変位が計測されている。

【0083】これらのダブルパス方式の干渉計の計測値も、図5のステージ制御装置38に供給され、その計測値に基づいてレチクルステージRST1、RST2のY方向の位置が制御される。即ち、本例では、計測ビーム91X1～91X5を有する干渉計83X1～83X5と、計測ビーム91Y1、91Y2及び計測ビーム91Y3、91Y4を有する2対のダブルパス方式の干渉計とによってレチクルステージ用の干渉計システムが構成されている。なお、干渉計83X1～83X5が図5では干渉計83で表され、移動鏡82A、82B及び計測ビーム91X1～91X5がそれぞれ図5では移動鏡82及び計測ビーム91Xで表されている。

【0084】次に、ウエハステージWST1、WST2の位置を管理する干渉計システムについて図5～図7を参照して説明する。図5～図7に示すように、投影光学系PL1の投影像の中心(光軸AX1)と、アライメント系88A、88Bのそれぞれの検出中心とを通りX軸に平行な軸に沿って、ウエハステージWST1の-X方向の側面の反射面84Xには、干渉計87X2から3軸のレーザビームよりなる計測ビーム92X2が照射されている。同様に、ウエハステージWST2の+X方向の

側面の反射面85Xには、干渉計87X5から3軸のレーザビームよりなる計測ビーム92X5が照射されている。干渉計87X2、87X5ではそれらの反射光を受光することにより、各反射面の基準位置からのX方向への相対変位を計測している。

【0085】この場合、図6に示すように、計測ビーム92X2及び92X5は、それぞれ互いに独立に変位計測を行うことができる3軸のレーザビームであるため、対応する干渉計87X2、87X5は、それぞれウエハステージWST1、WST2のX方向の位置を計測する以外に、各ステージのチルト角（Y軸の回りの回転角）計測、及びヨーイング角（Z軸回りの回転角）の計測をすることができる。この場合、本例のウエハステージWST1及びWST2には、図6に示すようにそれぞれウエハW1及びW2のZ方向への微小駆動、傾斜角の駆動、及びZ軸の回りの回転駆動を行うためのZ・レベリングステージLS1及びLS2が設けられているが、Z・レベリングステージLS1及びLS2は実際には反射面84X、85Xよりも低い部分にある。従って、ウエハW1、W2のチルト角制御、及びヨーイング角制御の際の駆動量は全て、これらの干渉計87X2、87X5によりモニタすることができる。

【0086】なお、X軸の計測ビーム92X2、92X5は、ウエハステージWST1、WST2の移動範囲の全域で常にウエハステージWST1、WST2の反射面84X、85Xに照射されるようになっている。従って、X方向については、投影光学系PL1を用いた露光時、又はアライメント系88A、88Bの使用時等の何れの場合にも、ウエハステージWST1、WST2のX方向の位置は計測ビーム92X2、92X5を用いた計測値に基づいて管理される。

【0087】また、図6及び図7に示すように、ウエハステージWST1、WST2の+Y方向の側面が移動鏡としての反射面84Y及び85Yに加工されており、投影光学系PL1の光軸AX1を通りY軸に平行な計測ビーム92Y3が干渉計87Y3から反射面84Y、85Yに照射されている。また、アライメント系88A、88Bのそれぞれの検出中心を通りY軸に平行な計測ビーム92Y1、92Y5をそれぞれ有する干渉計87Y1、87Y5も設けられている。本例の場合、投影光学系PL1を用いた露光時のウエハステージWST1、WST2のY方向の位置計測には、計測ビーム92Y3を持つ干渉計87Y3の計測値が用いられ、アライメント系88A、又は88Bの使用時のウエハステージWST1、又はWST2のY方向の位置計測には、それぞれ干渉計87Y1又は87Y5の計測値が用いられる。

【0088】従って、各使用条件により、Y軸の干渉計87Y1、87Y3、87Y5の計測ビームがウエハステージWST1、WST2の反射面84Y、85Yより外れる場合がある。そのため、本例では、干渉計87X

1及び87Y3の間にY軸に平行な計測ビーム92Y2を持つ干渉計87Y2を設け、干渉計87Y3及び87Y5の間にY軸に平行な計測ビーム92Y4を持つ干渉計87Y4を設けることにより、ウエハステージWST1、WST2の反射面84Y、85Yに常時、少なくとも一つの干渉計からの計測ビームが照射されるようにしている。このために、移動鏡としての反射面84Y及び85YのX方向の幅をDX1とすると、計測ビーム92Y1、92Y2、…、92Y5のX方向の間隔DX2を幅DX1よりも狭く設定している。この結果、計測ビーム92Y1～92Y5中の隣接する2つの計測ビームが同時に反射面84Y、85Y上に照射される場合が生じる（部分的に重複する計測範囲を有する）ため、後述のようにその状態で第1の干渉計から第2の干渉計に計測値の受け渡しを行っている。これによって、ウエハステージWST1、WST2はY方向においても、高い再現性で高精度に位置決めが行われる。

【0089】なお、Y方向の位置計測用の計測ビーム92Y1、92Y3、92Y5は、それぞれZ方向に離れて独立に位置計測を行うことができる2軸のレーザビームよりなるため、対応する干渉計87Y1、87Y3、87Y5は、それぞれ計測対象の反射面84Y、85YのY方向の位置の他に、X軸の回りの傾斜角（チルト角）の計測も行うことができる。本例では、干渉計87X2、87X5、87Y1～87Y5の合計7つの干渉計によって、ウエハステージWST1、WST2の2次元の座標位置を管理する干渉計システムが構成されている。本例では、後述するように、ウエハステージWST1、WST2の内の一方が露光シーケンスを実行している間、他方はウエハ交換、及びウエハアライメントシーケンスを実行するが、この際に両ステージの機械的な干渉がないように、各干渉計の計測値に基づいてステージ制御装置38が、ウエハステージWST1、WST2の位置及び速度制御を行っている。

【0090】次に、本例の照明系及び制御系について、図5に基づいて説明する。図5において、露光光源であるKrF、ArF、又はF₂等のエキシマレーザ光源と減光システム（減光板等）とよりなる光源部40から射出されたパルスレーザ光よりなる露光光は、シャッタ42を透過した後、ミラー44により偏向されて、ビームエキスパンダ46、48により適当なビーム径に整形され、第1フライアイレンズ50に入射する。この第1フライアイレンズ50から射出された露光光は、レンズ52、振動ミラー54、レンズ56を介して第2フライアイレンズ58に入射する。この第2フライアイレンズ58より射出された露光光は、レンズ60を経て、レチクルR1（又はR2）と共役な位置に設置された固定ブラインド62に達し、ここで所定形状にその断面形状が規定された後、レチクルとの共役面から僅かにデフォーカスした位置に配置された可動ブラインド64を通過し

て、リレーレンズ66、68を経て均一な照度分布の光として、レチクルR1上の所定形状、ここでは矩形スリット状の照明領域IA（図6参照）を照明する。

【0091】次に、本例の制御系は、装置全体を統轄的に制御する主制御装置90を中心に、この主制御装置90の管轄下にある露光量制御装置70及びステージ制御装置38等から構成されている。例えばレチクルR1のパターンをウエハW1に露光する場合には、露光量制御装置70は、レチクルR1とウエハW1との同期走査が開始されるのに先立って、シャッタ駆動装置72に指示してシャッタ駆動部74を駆動させてシャッタ42をオープンする。

【0092】この後、ステージ制御装置38により、主制御装置90の指示に応じてレチクルR1とウエハW1、即ちレチクルステージRST1とウエハステージWST1との同期走査（走査制御）が開始される。この同期走査は、前述したウエハステージ用の干渉計システムの計測ビーム92Y3、92X2及びレチクルステージ用の干渉計システムの計測ビーム91Y1、91Y2、91X3の計測値をモニタしつつ、ステージ制御装置38によってステージ駆動系81W、及びレチクルステージ駆動機構81Rを制御することにより行われる。

【0093】そして、両ステージRST1、WST1が所定の同期誤差以内で投影倍率比を速度比として、それぞれ等速度駆動された時点で、露光量制御装置70では、レーザ制御装置76に指示してパルス発光を開始させる。これにより、露光光によってレチクルR1の矩形の照明領域IA（図6参照）が照明され、その照明領域IA内のパターンの像が投影光学系PL1により1/5倍に縮小され、その表面にフォトレジストが塗布されたウエハW1上に投影露光される。ここで、図6からも明らかのように、レチクルR1上のパターン領域に比べ照明領域IAの走査方向の幅は狭く、レチクルR1とウエハW1とを同期走査することで、パターン領域の全面の像がウエハ上のショット領域に順次転写される。この露光の際に、露光量制御装置70は、ミラー駆動装置78に指示して振動ミラー54を駆動させることで、2つのフライアイレンズ50、58で発生する干渉縞による照度むらの低減を行う。

【0094】また、走査露光中にウエハW1上の各ショット領域のエッジ部の近傍に、レチクルR1上のパターン領域の外部（遮光帯の外部）を通過した露光光が漏れないように、レチクルR1とウエハW1との走査に同期して可動ブラインド64がブラインド制御装置39によって駆動制御されており、これらの一連の同期動作がステージ制御装置38により管理されている。更に、主制御装置90では、例えば、走査露光時に同期走査を行うレチクルステージとウエハステージとの助走開始位置等を補正する場合、各ステージを移動制御するステージ制御装置38に対してステージ位置の補正值を指示する。

【0095】次に、上記のように本例のレチクルステージRST1、RST2、及びウエハステージWST1、WST2にはそれぞれ部分的に計測範囲が重複している複数の干渉計が配置されており、干渉計の計測値が順次受け渡されるように構成されている。以下では、図7のウエハステージWST2、及び2つのY軸の干渉計87Y3及び87Y4を例に取って、干渉計の計測値の受け渡し動作、即ち干渉計の計測値のプリセット動作につき図7～図10を参照して説明する。

【0096】まず、図7の位置にあるウエハステージWST2が-X方向に移動すると、この移動の途中で計測ビーム92Y4が、ウエハステージWST2の移動鏡としての反射面85Yに入射しなくなる。逆に、ウエハステージWST2が+X方向に移動すると、この移動の途中で計測ビーム92Y3が、反射面85Yに入射しなくなる。そこで、干渉計87Y4と干渉計87Y3との間で、計測値の受け渡しを高精度に行って、干渉計87Y4、87Y3の何れかをを用いて再現性の有る状態でウエハステージWST2のY座標の計測を行う必要がある。このため、本例では、次のような工夫をしている。

【0097】図8(a)は、図7のウエハステージWST2を示す平面図であり、この図8(a)において、ウエハステージWST2のX方向の変位は、X軸の干渉計87X5によって、また、ウエハステージWST2のY方向の変位は、2つの干渉計87Y3、87Y4によって測定されている。干渉計87Y3、87Y4の計測ビーム92Y3、92Y4のX方向の間隔DX2は、ウエハステージWST2の反射面85YのX方向の幅DX1より狭くなっている。

【0098】ここで、本例の干渉計87Y4、87Y3はそれぞれヘテロダイン干渉方式のレーザ干渉計であり、計測ビームの光源としては共通の不図示の2周波数発振レーザ（例えばゼーマン効果型の波長633nmのHe-Neレーザ光源）が使用されている。この2周波数発振レーザからは互いに偏光方向が直交し、所定の周波数差 Δf （例えば2MHz程度）を有する第1、及び第2の光束が同軸にヘテロダインビームとして射出されており、先ずこのヘテロダインビームを例えば1/10程度分岐して検光子で混合させた干渉光を光電変換することで周波数 Δf の参照信号SRが生成され、この参照信号SRが干渉計87Y4、87Y3内のそれぞれの位相比較器26（図9参照）に供給されている。

【0099】また、上記のヘテロダインビームをそれぞれ1/10程度分岐して得られた第1、及び第2のヘテロダインビームが干渉計87Y3、87Y4に供給されており、干渉計87Y4は第2のヘテロダインビームの偏光方向が直交する2光束の一方を計測ビーム92Y4として、他方を参照ビーム（不図示）として、参照ビームは不図示の参照鏡で反射される。そして、反射された参照ビームと、反射面85Yで反射された計測ビーム9

2 Y 4 とを検光子で混合させた干渉光を光電変換することで周波数 Δf で、かつ位相が変化する測定信号 S 2 が生成されて図 9 の位相比較器 2 6 に供給され、位相比較器 2 6 において、上記の参照信号 S R と測定信号 S 2 との位相差 $\phi 2$ が所定の分解能 (例えば $2\pi/100$ (rad)) で検出されて積算器 2 7 に供給される。

【0100】この際に、計測ビーム 9 2 Y 3, 9 2 Y 4 の波長を λ として、1 以上の整数 m を用いて、反射面 8 5 Y が Y 方向に λ/m (本例のようにシングルパス方式では $m=2$ 、一方、ダブルパス方式では $m=4$) だけ移動したときに、その位相差 $\phi 2$ が 2π (rad) 変化する。また、位相差 $\phi 2$ の範囲は $0 \leq \phi 2 < 2\pi$ であり、図 9 の積算器 2 7 では、位相差 $\phi 2$ が 2π を + 方向に横切の際に所定の整数 (干渉の次数に相当する) $N 2$ に 1 を加算して、位相差 $\phi 2$ が 0 を - 方向に横切の際にその整数 $N 2$ から 1 を減算する。そして、計測中は積算器 2 7 は $\{N 1 + \phi 2 / (2\pi)\}$ に λ/m を乗じた計測値 P 2 をウエハステージ W S T 2 の Y 方向の絶対位置としてステージ制御装置 3 8 に送る。

【0101】同様に、干渉計 8 7 Y 3 においても、計測ビーム 9 2 Y 3 から得られる測定信号 S 1 と上記の参照信号 S R との位相差 $\phi 1$ 、この位相差 $\phi 1$ が 2π 、又は 0 を横切る毎に増減する整数 $N 1$ 、及び λ/m から算出される計測値 P 1 をステージ制御装置 3 8 に送る。即ち、干渉計 8 7 Y 3, 8 7 Y 4 はそれぞれウエハステージ W S T 2 の Y 方向の位置を、 λ/m の幅内では絶対位置として計測している。

【0102】そして、本例の X 軸の干渉計 8 7 X 5 は、図 6 に示すように Y 方向に離れた 2 つのレーザビームを備えているため、これら 2 つのレーザビームによる反射面 8 5 X の X 座標の計測値の差分より、ウエハステージ W S T 2 の回転角 $\theta W 2$ を計測できる。そこで、予め図 8 (a) の状態でその回転角 $\theta W 2$ が 0 となるようにウエハステージ W S T 2 を静止させた「初期状態」で、干渉計 8 7 Y 4, 8 7 Y 3 における整数 $N 2$, $N 1$ を 0 にリセットすると共に、計測される位相差 $\phi 2$, $\phi 1$ に $\{1/(2\pi)\}$ (λ/m) を乗じて得られる計測値 (初期値) P 2 0, P 1 0 をステージ制御装置 3 8 に取り込む。

【0103】そして、ステージ制御装置 3 8 では、干渉計 8 7 Y 4, 8 7 Y 3 の計測値のオフセットをそれぞれ $-P 2 0$, $-P 1 0$ として、この後は干渉計 8 7 Y 4, 8 7 Y 3 から供給される計測値 P 2, P 1 にそのオフセット ($-P 2 0$, $-P 1 0$) を加算した値を、干渉計 8 7 Y 4, 8 7 Y 3 の実際の計測値 P 2', P 1' とする。即ち、この計測値 P 2', P 1' は、上記の初期状

$$N 2 = g \{P 2' / (\lambda/m)\}$$

$$\varepsilon 2 = \{P 2' / (\lambda/m) - N 2\}$$

ここで、 $g \{X\}$ は、 X を超えない最大の整数を与える関数である。後に詳述するようにステージ制御装置 3 8

態からのウエハステージ W S T 2 の Y 方向への変位量を正確に表すことになる。その計測値の初期値 (P 2 0, P 1 0) は記憶されている。

【0104】さて、図 8 (a) において、ウエハステージ W S T 2 が - X 方向に更に移動して、図 8 (b) に示す位置に達したとする。図 8 (b) では、干渉計 8 7 Y 4 の計測ビーム 9 2 Y 4 が移動鏡としての反射面 8 5 Y から外れている。この状態では、ウエハステージ W S T 2 の Y 座標は、干渉計 8 7 Y 3 によって計測されているものとする。この状態から再び図 8 (a) に示す位置に向かってウエハステージ W S T 2 が + X 方向に移動を始め、反射面 8 5 Y が干渉計 8 7 Y 4 の計測ビーム 9 2 Y 4 の照射範囲 (測定範囲) 内に入った際に、干渉計 8 7 Y 4 の計測値を以下のようにして設定 (プリセット) する。

【0105】まず、X 軸の干渉計 8 7 X 5 の計測ビーム 9 2 X 5 (2 本のレーザビーム) によってウエハステージ W S T 2 の回転角 $\theta W 2$ (ほぼ 0 に近い微小量 (rad) である) を計測する。この状態で、図 8 (a) において、計測ビーム 9 2 Y 3 を用いる干渉計 8 7 Y 3 による Y 座標の計測値 P 1 を求める。ただし、この計測値 P 1 は、オフセット補正を行う前の直接の計測値である。そして、例えばステージ制御装置 3 8 において、その計測値 P 1 より干渉計 8 7 Y 4 の干渉の次数 $N 2$ ($N 2$ は整数) と、端数 $\varepsilon 2 / (2\pi)$ との推定値を求める。この端数 $\varepsilon 2$ は、上記の $\phi 2$ に対応する値である。

【0106】即ち、ステージ制御装置 3 8 内の演算部は、計測ビーム 9 2 Y 3, 9 2 Y 4 の間隔 D X 2、ウエハステージ W S T 2 の回転角の計測値 $\theta W 2$ 、干渉計 8 7 Y 3 の計測値 P 1、及び干渉計 8 7 Y 4, 8 7 Y 3 の計測値の初期値の差分 ($= P 2 0 - P 1 0$) より、干渉計 8 7 Y 4 のオフセット補正前の計測値 P 2 の推定値 P 2' を次のように算出する。

$$P 2' = P 1 + D X 2 \cdot \theta W 2 + (P 2 0 - P 1 0)$$

【0107】例えば回転角の計測値 $\theta W 2$ の計測精度が高い場合には、この推定値 P 2' をそのまま干渉計 8 7 Y 4 の現在の計測値 P 2 の値としてプリセットしてもよい。しかしながら、計測値 $\theta W 2$ には或る程度の計測誤差が含まれていることがあるため、干渉計 8 7 Y 4 は幅 λ/m 単位で絶対位置を計測できることを利用して、その演算部はその指定値 P 2' を整数分と端数分とに分解する。従って、干渉計 8 7 Y 4 の計測値の推定値 P 2' の中で長さ λ/m の $N 2$ 倍の残りの値が端数 $\varepsilon 2 / (2\pi)$ となる。即ち、ステージ制御装置 3 8 は次のように整数 $N 2$ 、及び端数 $\varepsilon 2$ を算出 (推定) する。

【0108】

$$(1)$$

$$(2)$$

では、計測値 P 1 から得られる干渉の次数及び端数の推定値 ($N 2$, $\varepsilon 2$) と、干渉計 8 7 Y 4 で実際に計測さ

れる位相差（絶対位相） $\phi 2$ とから、干渉計 87Y4 の整数（次数） $N 2$ のプリセット値を決定する。

【0109】図 9 は、本例のステージ制御装置 38 の一部、及び干渉計 87Y4 の一部を示し、図 9 に示すように、干渉計 87Y4 は、例えばレーザ光源から出力された参照信号 $S R$ と測定信号 $S 2$ （計測ビームと参照ビームとの干渉光の光電変換信号）とが入力される位相比較器 26 を有している。位相比較器 26 は、参照信号 $S R$ と測定信号 $S 2$ との位相差 $\phi 2$ を検出し、検出された位相差 $\phi 2$ は積算器 27 に出力されると共に、ステージ制御装置 38 内の計算処理装置 28 にも出力されている。なお、他の干渉計もそれぞれ位相比較器 26、及び積算器 27 を備えている。

【0110】積算器 27 は、計測時には上記のようにその位相差 $\phi 2$ の変化より整数 $N 2$ を積算して、 $\{N 2 + \phi 2 / (2\pi)\}$ に (λ/m) を乗じて得られる計測値 $P 2$ を、移動鏡（本例では反射面 85Y）の移動量を示す情報としてステージ制御装置 38 に出力している。但し、今のように計測値の受け渡しを行うときには、計算処理装置 28 では、位相比較器 26 から入力された位相差 $\phi 2$ と、上記の演算部から入力された端数の推定値 $\varepsilon 2$ とを比較する。この比較は、推定された位相差の推定値 $\varepsilon 2$ が 0（ゼロ）又は 2π に近い場合、推定した干渉の次数を示す整数 $N 2$ が ± 1 の範囲でずれている可能性があるため、その検証のために行うものである。この比較の動作を図 10 を参照しつつ説明する。便宜上、図 10 では、 $N 2$ の推定値を次数 N としている。

$$P 2 = (\lambda/m) \cdot N' + (\lambda/m) (\phi 2 / 2\pi) \quad (3)$$

これによって、干渉計 87Y4 の計測値 $P 2$ は、実質的に元の値に復帰したことになると共に、干渉計 87Y3 の計測値が干渉計 87Y4 に正確に受け渡されたことになる。

【0113】以上のように本例では、鏡面からの反射光が再び得られるようになった第 1 の干渉計にプリセット値を設定する際には、他の第 2 の干渉計の測定値から算出される測定値をその第 1 の干渉計の干渉の次数（ $N 1$ 、又は $N 2$ ）を決定するための推定値として利用し、推定された干渉の次数とその第 1 の干渉計で測定した位相差（絶対位相） ϕ とに基づいて、その第 1 の干渉計の干渉の次数（ $N 1$ 、又は $N 2$ ）のプリセット値、ひいては干渉計の計測値のプリセット値を決定するようにしている。この際には、測定ビームが鏡面から一旦外れているため、干渉の次数 $N 2$ 又は $N 1$ が不明であるが、他の干渉計の測定値から計算で干渉の次数が求められるため、その干渉計のプリセット値はその干渉計固有の精度で設定することができる。

【0114】なお、装置立ち上げ時や、何らかの原因で全ての測定値に計測誤差が混入し、全ての干渉計の計測値をリセットする必要がある場合には、図 9 において、計算処理装置 28 に次数 $N 2 = 0$ を送り、同じく計

【0111】図 10（a）～（c）において、横軸は参照信号と計測信号との位相差を表し、特に干渉の次数 $k = N - 1$ 、 $k = N$ 、 $k = N + 1$ の範囲の位相差を図示している。1つの次数内で位相差は 2π 変化している。図 10（a）は、実際の位相差 $\phi 2$ と位相差の推定値 $\varepsilon 2$ との差の絶対値が π より小さい（ $|\phi 2 - \varepsilon 2| < \pi$ ）場合を示している。この場合は図示の通り実際の位相差 $\phi 2$ は次数 N 内にあるので、干渉の次数は推定値通り N であり、次数のプリセット値 $N' = N$ とする。図 10（b）は、実際の位相差 $\phi 2$ から位相の推定値 $\varepsilon 2$ を減じた値が π より大きい（ $\phi 2 - \varepsilon 2 > \pi$ ）場合を示している。この場合は図示の通り実際の位相差 $\phi 2$ は次数 $N - 1$ 内にあるので、プリセット値 N' は、 $N' = N - 1$ とする。また、図 10（c）は、実際の位相差 $\phi 2$ から位相の推定値 $\varepsilon 2$ を減じた値が $-\pi$ より小さい（ $\phi 2 - \varepsilon 2 < -\pi$ ）場合を示している。この場合は図示の通り実際の位相差 $\phi 2$ は次数 $N + 1$ 内にあるので、 $N' = N + 1$ とする。

【0112】計算処理装置 28 では、以上のようにして求めたプリセット値 N' を、図 9 の積算器 27 に対するプリセット値 $R E$ として出力する。積算器 27 では、プリセット値 $R E$ （即ち N' ）を整数 $N 2$ のプリセット値として設定し、位相比較器 26 からの位相差 $\phi 2$ とその整数 N' とから次のように Y 座標の計測値 $P 2$ を算出して、ステージ制御装置 38 に供給し、後は通常の計測動作を行う。

計算処理装置 28 の出力（プリセット値） $R E (=0)$ を積算器 27 に設定するようにしておく必要がある。この場合は、結局のところ位相差（絶対位相） $\phi 2$ に対応する値だけが積算器 27（干渉計 87Y4）に設定されることになる。同様に干渉計 87Y3 の初期値も位相差 $\phi 1$ に対応する値となる。

【0115】また、積算器 27 の出力 $P 2$ が必要に応じて計算処理装置 18 にフィードバックされるようにしてもよい。この場合、積算器 27 を例えばリセットした後、計算処理装置 28 からリセット値が積算器 27 に設定されるまでの間のウエハステージの変位量までを含めて積算器 27 にプリセット値として設定することができる。この際には、ウエハステージからの反射光が受光可能になったときから、プリセット値 $R E 2$ が積算器 27 に設定されるまでの間のウエハステージの変位量まで考慮したより精密な初期値の設定を行うことができるようになる。

【0116】また、本例ではウエハステージ $W S T 2$ が移動する際には、ウエハステージ $W S T 2$ の側面 85Y に干渉計 87Y3～87Y5 からの計測ビームの内何れか 1 本の計測ビームが照射されている必要がある。そのため、本例では、各計測ビーム間の間隔（例えば、図 8

に示す計測ビーム 92Y3, 92Y4 の間隔 DX2) が、ウエハステージ WST2 の X 方向の幅 DX1 よりも短くなるように干渉計を配置している。

【0117】また、図 6 のレチクルステージ RST1, RST2 の位置計測を行うための干渉計 83X1~83X5 においても、同様にして干渉計の初期値 (プリセット値) 設定が行われ、これに基づいて計測値の受け渡しが行われる。次に、本例の投影露光装置では、ウエハステージ WST1 及び WST2 との間でそれぞれウエハの交換を行う第 1 及び第 2 の搬送システムが設けられてい

る。

【0118】第 1 の搬送システムは、図 11 に示すように、左側のウエハローディング位置にあるウエハステージ WST1 との間で後述するようにしてウエハ交換を行う。この第 1 の搬送システムは、Y 軸方向に延びる第 1 のローディングガイド 96A、このローディングガイド 96A に沿って移動する第 1 及び第 2 のスライダ 97A, 97C、第 1 のスライダ 97A に取り付けられたアンロードアーム 98A、第 2 のスライダ 97C に取り付けられたロードアーム 98C 等を含んで構成される第 1 のウエハローダと、ウエハステージ WST1 上に設けられた 3 本の上下動部材から成る第 1 のセンターアップ 99 とから構成される。

【0119】この第 1 の搬送システムによるウエハ交換の動作について、簡単に説明する。ここでは、図 11 に示すように、左側のウエハローディング位置にあるウエハステージ WST1 上にあるウエハ W1' と第 1 のウエハローダにより搬送されてきたウエハ W1 とが交換される場合について説明する。まず、主制御装置 90 では、ウエハステージ WST1 上の不図示のウエハホルダの真空吸着をオフにしてウエハ W1' の吸着を解除する。次に、主制御装置 90 では、不図示のセンターアップ駆動系を介してセンターアップ 99 を所定量上昇させる。これにより、ウエハ W1' が所定位置まで持ち上げられる。この状態で、主制御装置 90 では、不図示のウエハローダ制御装置を介してアンロードアーム 98A をウエハ W1' の真下に移動させる。この状態で、主制御装置 90 では、センターアップ 99 を所定位置まで下降駆動させて、ウエハ W1' をアンロードアーム 98A に受け渡した後、アンロードアーム 98A の真空吸着を開始させる。次に、主制御装置 90 では、ウエハローダ制御装置にアンロードアーム 98A の退避とロードアーム 98C の移動開始を指示する。これにより、アンロードアーム 98A が図 11 の Y 方向への移動を開始し、ウエハ W1 を保持したロードアーム 98C がウエハステージ WST1 の上方にきたとき、ウエハローダ制御装置によりロードアーム 98C の真空吸着が解除され、続いてセンターアップ 99 を上昇駆動することで、ウエハ W1 がウエハステージ WST1 上に受け渡される。

【0120】また、ウエハステージ WST2 との間でウ

エハの受け渡しを行う第 2 の搬送システムは、図 12 に示すように、第 1 の搬送システムと対称に、第 2 のローディングガイド 96B、この第 2 のローディングガイド 96B に沿って移動するスライダ 97B 及び 97D、第 3 のスライダ 97B に取り付けられたアンロードアーム 98B、第 4 のスライダ 97D に取り付けられたロードアーム 98D 等を含んで構成されている。ロードアーム 98D には次に露光されるウエハ W2' が保持されている。

【0121】次に、本例の投影露光装置の 2 つのウエハステージ WST1, WST2 による並行処理について図 11 及び図 12 を参照して説明する。図 11 には、ウエハステージ WST2 上のウエハ W2 に投影光学系 PL1 を介して露光を行っている間に、左側ローディング位置にて上述の様にウエハステージ WST1 と第 1 の搬送システムとの間でウエハの交換が行われている状態の平面図が示されている。この場合、ウエハステージ WST1 上では、ウエハ交換に引き続いて後述するようにしてアライメント動作が行われる。なお、図 11 において、露光動作中のウエハステージ WST2 の位置制御は、干渉計システムの計測ビーム 92X5, 92Y3 の計測値に基づいて行われ、ウエハ交換とアライメント動作とが行われるウエハステージ WST1 の位置制御は、干渉計システムの計測ビーム 92X2, 92Y1 の計測値に基づいて行われる。このため、図 5 の主制御装置 90 ではステージ制御装置 38 に指示して、ウエハ交換とアライメント動作とをする前に、後述する干渉計の計測値の初期値設定 (プリセット) を実施している。

【0122】ウエハ交換、及び干渉計の初期値設定に引き続いて、サーチアライメントが行われる。ウエハ交換後に行われるサーチアライメントとは、ウエハ W1 の搬送中になされるプリアライメントだけでは位置誤差が大きいため、ウエハステージ WST1 上で再度行われるプリアライメントのことである。具体的には、ステージ WST1 上に載置されたウエハ W1 上に形成された 3 つのサーチアライメントマーク (不図示) の位置を図 5 のアライメント系 88A の LSA 系のセンサ等を用いて計測し、その計測結果に基づいてウエハ W1 の X 方向、Y 方向、及び θ 方向の位置合わせを行う。このサーチアライメントの際の各部の動作は、主制御装置 90 により制御される。

【0123】このサーチアライメントの終了後、ウエハ W1 上の各ショット領域の配列をここでは EGA (エンハンスド・グローバル・アライメント) 方式で求めるファインアライメントが行われる。具体的には、干渉計システム (計測ビーム 92X2, 92Y1) により、ウエハステージ WST1 の位置を管理しつつ、設計上のショット配列データ (アライメントマーク位置データ) をもとに、ウエハステージ WST1 を順次移動させつつ、ウエハ W1 上の所定のショット領域 (サンプルショット)

のアライメントマーク位置を図5のアライメント系88AのFIA系のセンサ等で計測し、この計測結果とショット配列の設計座標データに基づいて最小自乗法による統計演算により、全てのショット配列データを算出する。なお、このEGA方式のファインアライメントの際の各部の動作は図5の主制御装置90により制御され、上記の演算は主制御装置90により行われる。

【0124】そして、ウエハステージWST1側で、ウエハ交換、及びアライメント動作が行われている間に、ウエハステージWST2側では、2枚のレチクルR1、R2を使い、露光条件を変えながら連続してステップ・アンド・スキャン方式により二重露光が行われる。具体的には、前述したウエハW1側と同様に、事前にEGA方式によるファインアライメントが行われており、この結果得られたウエハW2上のショット配列データに基づいて、順次ウエハW2上のショット領域を投影光学系PL1の光軸下方に移動させた後、各ショット領域の露光の都度、図6のレチクルステージRST1（又はRST2）とウエハステージWST2とを走査方向に同期走査させることにより、走査露光が行われる。このようなウエハW2上の全ショット領域に対する露光がレチクル交換後も連続して行われる。具体的な二重露光の露光順序としては、ウエハW2の各ショット領域にレチクルR2を使って順次走査露光を行った後、レチクルステージRST1、RST2を+Y方向に所定量移動してレチクルR1を助走開始位置に設定した後、走査露光を行う。このとき、レチクルR2とレチクルR1とは露光条件（輪帯照明、変形照明等の照明条件、及び露光量等）や透過率が異なるので、予め露光データ等に基づいて各条件の変更を行う必要がある。このウエハW2の二重露光中の各部の動作も主制御装置90によって制御される。

【0125】上述した図11に示す2つのウエハステージWST1、WST2上で並行して行われる露光シーケンスとウエハ交換・アライメントシーケンスとは、先に終了したウエハステージの方が待ち状態となり、両方の動作が終了した時点で図12に示す位置までウエハステージWST1、WST2が移動制御される。そして、露光シーケンスが終了したウエハステージWST2上のウエハW2は、右側ローディングポジションでウエハ交換がなされ、アライメントシーケンスが終了したウエハステージWST1上のウエハW1は、投影光学系PL1の下で露光シーケンスが行われる。図12に示される右側ローディングポジションでは、左側ローディングポジションと同様に、前述のウエハ交換動作とアライメントシーケンスとが実行されることとなる。

【0126】上記のように本例では、2つのウエハステージWST1、WST2を独立して2次元方向に移動させながら、各ウエハステージ上のウエハW1、W2に対して露光シーケンスとウエハ交換・アライメントシーケ

ンスとを並行して行うことにより、スループットの向上を図っている。ところが、2つのウエハステージを使って2つの動作を同時並行処理する場合は、一方のウエハステージ上で行われる動作が外乱要因として、他方のウエハステージで行われる動作に影響を与える場合がある。また、逆に、一方のウエハステージ上で行われる動作が他方のウエハステージで行われる動作に影響を与えない動作もある。そこで、本例では、並行処理する動作の内、外乱要因となる動作とされない動作とに分けて、外乱要因となる動作同士、あるいは外乱要因とされない動作同士が同時に行われるように、各動作のタイミング調整が図られる。

【0127】例えば、走査露光中は、ウエハW1とレチクルR1、R2とを等速で同期走査させることから外乱要因とならない上、他からの外乱要因を極力排除する必要がある。このため、一方のウエハステージWST1上での走査露光中は、他方のウエハステージWST2上のウエハW2で行われるアライメントシーケンスにおいて静止状態となるようにタイミング調整がなされる。即ち、アライメントシーケンスにおける計測は、ウエハステージWST2を静止させた状態で行われるため、走査露光にとって外乱要因とならず、走査露光中に並行してマーク計測を行うことができる。一方、アライメントシーケンスにおいても、走査露光中は、等速運動なので外乱とはならず高精度計測が行えることになる。

【0128】また、ウエハ交換時においても同様のことが考えられる。特に、ロードアームからウエハをセンターアップに受け渡す際に生じる振動等は、外乱要因となり得るため、走査露光前、あるいは、同期走査が等速度で行われるようになる前後の加減速時（外乱要因となる）に合わせてウエハの受け渡しをするようにしても良い。なお、これらのタイミング調整は、主制御装置90によって行われる。

【0129】更に、本例では、複数枚のレチクルを使って二重露光を行うことから、高解像度とDOF（焦点深度）の向上効果が得られる。しかし、この二重露光法は、露光工程を少なくとも2度繰り返さなければならないため、単一のウエハステージを用いる場合には、露光時間が長くなって大幅にスループットが低下する。しかしながら、本例の2台のウエハステージを備えた投影露光装置を用いることにより、スループットが大幅に改善できると共に、高解像度と焦点深度DOFの向上効果が得られる。

【0130】なお、本発明の適用範囲がこれに限定されるものではなく、一重露光法により露光する場合にも本発明は好適に適用できるものである。2台のウエハステージを使用することによって、1つのウエハステージを使って一重露光法を実施する場合に比べてほぼ倍の高スループットを得ることができる。なお、この第2の実施の形態において、第1の実施の形態のように、露光光の

状態又は結像特性を計測するための計測用ステージを更に設けるようにしてもよい。また、本例では、1次元モータの組み合わせによってウエハステージを駆動しているが、第1の実施の形態のように、平面モータによって2次的に駆動するようにしてもよい。

【0131】本実施の形態の投影露光装置は、多数の機械部品からなるレチクルステージRST(RST1, RST2)、ウエハステージWST(WST1, WST2)を組み立てるとともに、複数のレンズから構成される投影光学系PL(PL1)の光学調整を行い、更に、総合調整(電気調整、動作確認等)をすることにより製造することができる。なお、投影露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0132】また、上記の実施の形態では、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したが、本発明はこれに限られず、ステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置、プロキシミティ方式の露光装置、あるいは、X線等のEUV光を露光ビームとする露光装置や電子線(エネルギー線)を光源(エネルギー線)とする荷電粒子線露光装置であっても同様に適用することができる。また、露光装置のみならず、ウエハ等を位置決めするためのステージを使用する検査装置、又はリペア装置等に用いてもよい。

【0133】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0134】

【発明の効果】本発明の第1のステージ装置によれば、個別の機能毎、又は所定の複数の機能群毎にそれぞれ可動ステージを設けることによって、各可動ステージを小型化させて、高速にかつ高精度に駆動することができる。また、複数の可動ステージをそれぞれ第1測定系の計測範囲よりも大きい範囲で移動させることができ、更に、各可動ステージがその第1測定系の計測範囲内に入った際には、第1測定系によりその可動ステージの位置を高い再現性で高精度に計測することができる。

【0135】次に、本発明の第2のステージ装置によれば、その複数の可動ステージの位置をそれぞれ広い計測範囲で、かつ高い再現性で高精度に計測できる。また、その第1測定系の計測結果をその第2測定系の計測結果に合わせるのみでその可動ステージの位置を第1測定系により高精度に計測できるため、スループットの向上を図ることができる。

【0136】次に、本発明の第1の露光装置によれば、本発明のステージ装置を備えているため、例えば干渉計によりその可動ステージの位置を計測する場合には、移動鏡をその可動ステージの移動範囲よりも小さくすることができる。従って、その可動ステージを高速に移動させる

ことが容易になり、高いスループットで二重露光法等を用いて露光を行うことができ、解像度、及び焦点深度の向上を図ることができる。

【0137】次に、本発明の第2の露光装置によれば、本来の露光に使用するその第1の可動ステージには露光に必要な最小限の機能のみを持たせることによって、その第1の可動ステージの大きさは必要最小限にできるため、ステージの小型化、軽量化を行いスループットの向上を図ることができる。一方、露光に直接必要がなく、そのマスクのパターンを転写する際の特性を計測するための特性計測装置は、別の第2の可動ステージに搭載されるため、そのマスクのパターンを転写する際の特性を計測することもできる。また、本発明のステージ装置を備えているため、その複数の可動ステージの位置を高精度に計測することができる。

【0138】次に、本発明の第3の露光装置によれば、例えばその複数の可動ステージの内の一方の可動ステージで露光動作を行いながら、別の可動ステージでは基板の搬入搬出及びアライメント動作を行うことができ、スループットの向上を図ることができる。次に、本発明の第4の露光装置によれば、本来の露光に使用するその第1の可動ステージには露光に必要な最小限の機能のみを持たせることによって、その第1の可動ステージの小型化、軽量化を行いスループットの向上を図ることができる。一方、露光に直接必要がなく、その投影光学系の結像特性を計測するための特性計測装置は、別の第2の可動ステージに搭載されるため、結像特性も計測できる。

【0139】次に、本発明の第1の位置決め方法によれば、迅速にその複数の可動ステージの位置を高精度に計測して位置決めすることができる。同様に、本発明の第2の位置決め方法によれば、迅速にその複数の可動ステージの位置を高精度に計測して位置決めすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態の投影露光装置の概略構成図である。

【図2】 図1のウエハステージWST、及び計測用ステージ14を示す平面図である。

【図3】 図1のレチクルステージRST、及び計測用ステージ5を示す平面図である。

【図4】 第1の実施の形態において、計測用ステージ14を用いて露光光の状態等を計測する場合の説明に供する平面図である。

【図5】 本発明の第2の実施の形態の投影露光装置の概略構成図である。

【図6】 図5の実施の形態の2つのウエハステージWST1, WST2と、2つのレチクルステージRST1, RST2と、投影光学系PL1と、アライメント系88A, 88Bとの位置関係を示す斜視図である。

【図7】 図5のウエハステージの駆動機構の構成を示

す平面図である。

【図 8】 本発明の第 2 の実施の形態において実施される干渉計の計測値設定を説明するための図である。

【図 9】 本発明の第 2 の実施の形態の干渉計システムに用いられる信号処理系の一部の概略構成を示す図である。

【図 10】 本発明の第 2 の実施の形態の干渉計システムにおける信号処理の一例を示す図である。

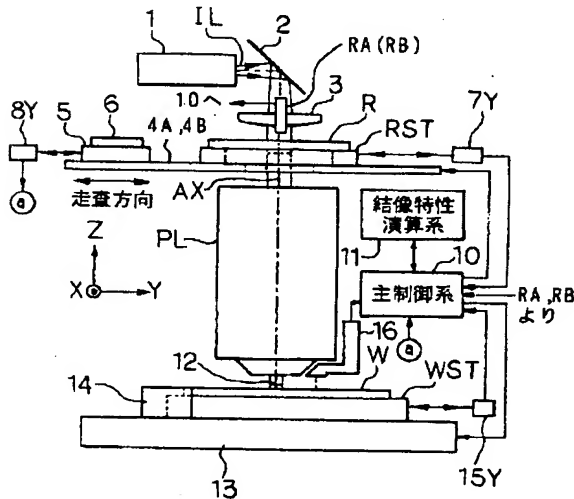
【図 11】 2 つのウェハステージ WST 1, WST 2 を使用してウェハ交換・アライメントシーケンスと露光シーケンスとが行われている状態を示す平面図である。

【図 12】 図 11 のウェハ交換・アライメントシーケンスと露光シーケンスと切り換えを行った状態を示す図である。

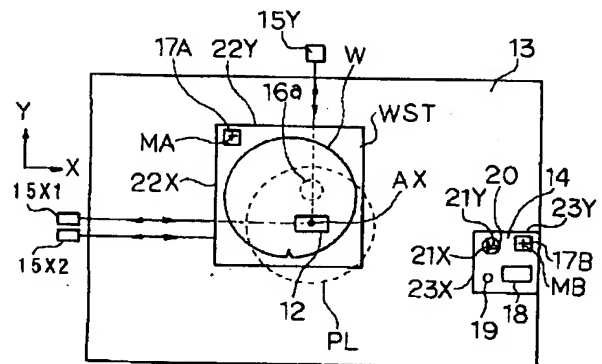
【符号の説明】

MA, MB, MC1, MC2, MD1, MD2…基準マーク、R, R1, R2…レチクル、RA, RB…レチクルアライメント顕微鏡、RST, RST1, RST2…レチクルステージ、W, W1, W2…ウェハ、WST, WST1, WST2…ウェハステージ、5…計測用ステージ、7X1, 7X2, 7Y, 8Y, 15X1, 15X2, 15Y…レーザ干渉計、10…主制御系、11…結像特性演算系、13…定盤、14…計測用ステージ、16…ウェハアライメントセンサ、26…位相比較器、27…積算器、28…計算処理装置、38…ステージ制御装置、83X1~83X5, 83Y1~83Y4, 87X2, 87X5, 87Y1~87Y5…干渉計、88A, 88B…アライメント系、90…主制御装置

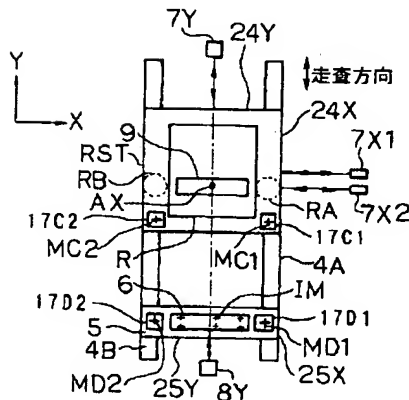
【図 1】



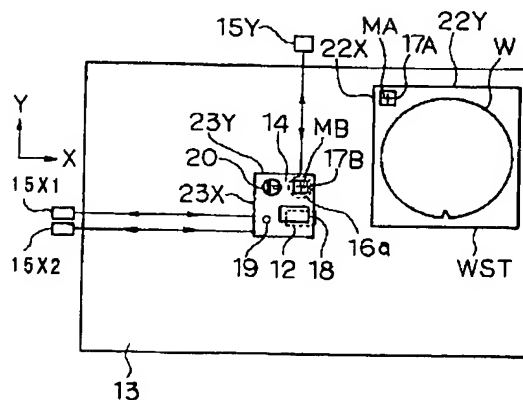
【図 2】



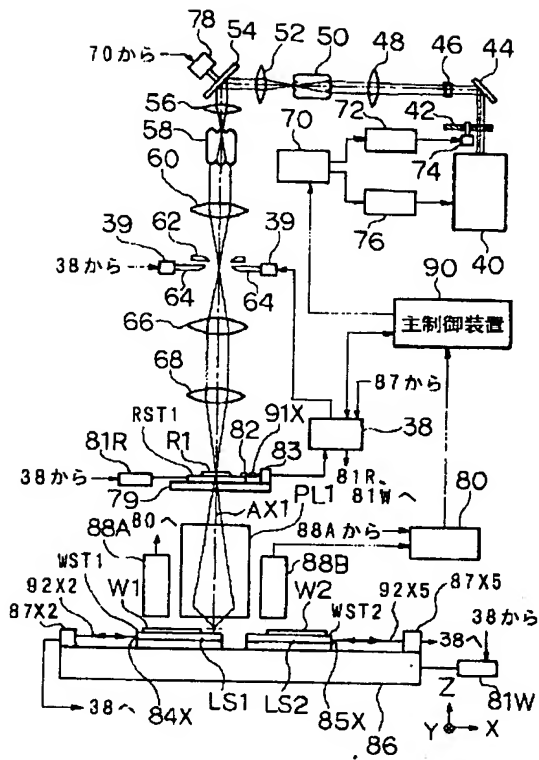
【図 3】



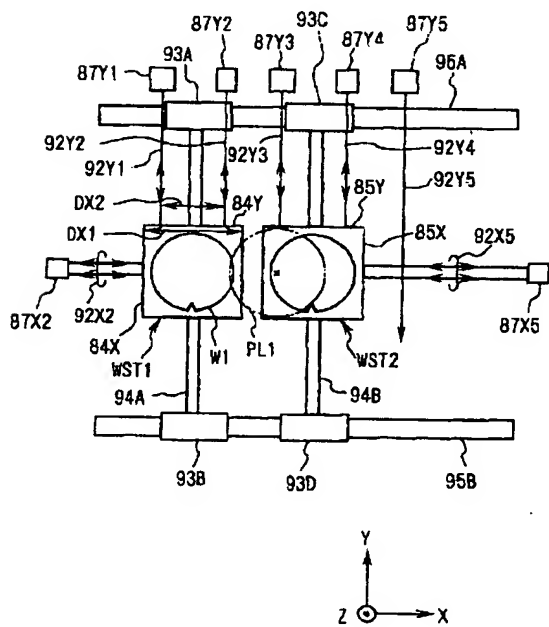
【図 4】



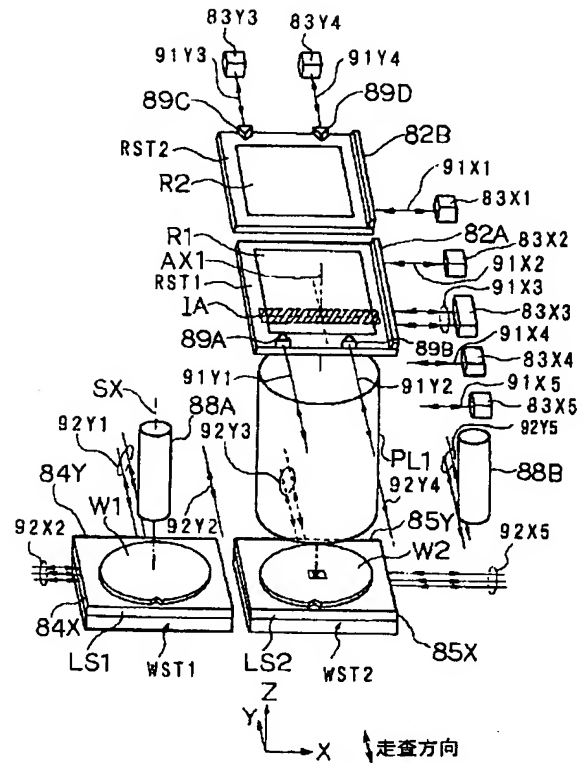
【図5】



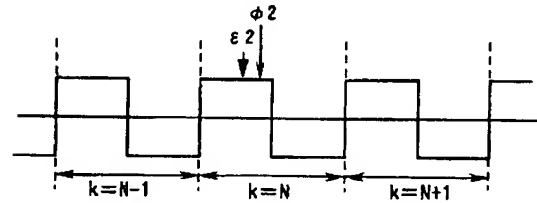
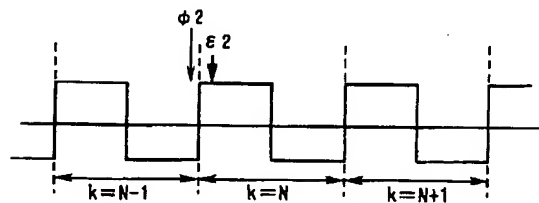
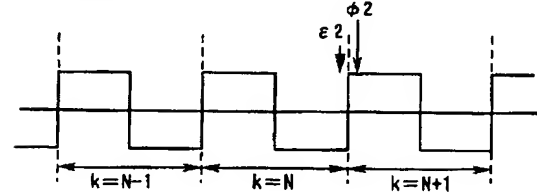
【図7】



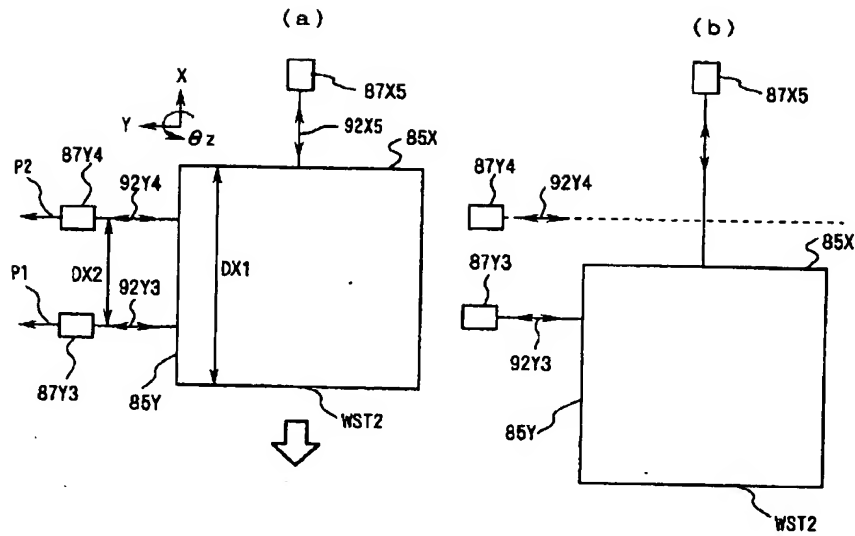
【図6】



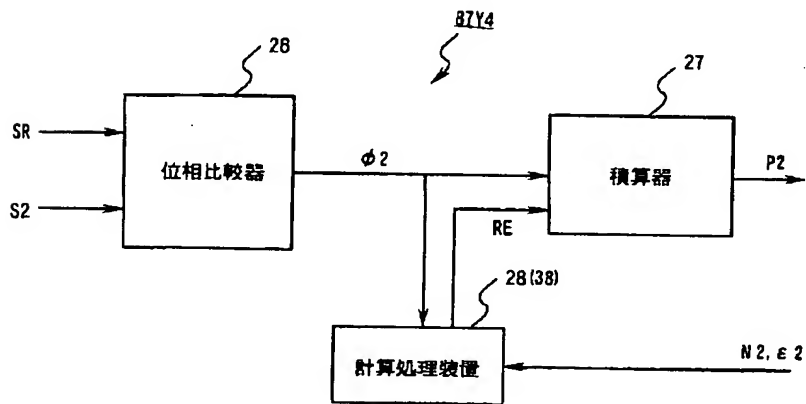
【図10】

(a) $|\phi_2 - \varepsilon_2| < \pi$ (b) $\phi_2 - \varepsilon_2 > \pi$ (c) $\phi_2 - \varepsilon_2 < -\pi$ 

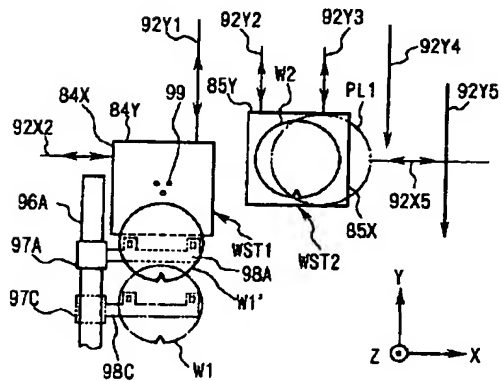
【図8】



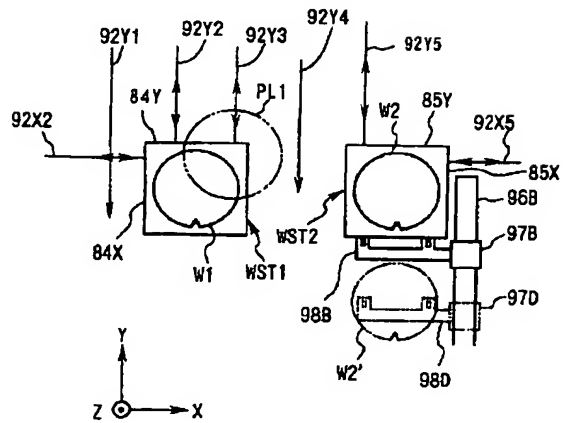
【図9】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H097 AA12 BA01 KA03 KA28 KA38
LA10
5F046 AA13 CC01 CC02 CC13 CC16
CC17 DB05 DB10 DC05 DC12